

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-267673

(43)Date of publication of application : 28.09.2001

(51)Int.Cl.

H01S 3/139

(21)Application number : 2001-034157

(71)Applicant : CYMER INC

(22)Date of filing : 09.02.2001

(72)Inventor : FOMENKOV IGOR V
 KROYAN ARMEN
 BUCK JESSE D
 DAS PALASH P
 SANDSTROM RICHARD L
 ERIE FREDERICK G
 ALGOTS JOHN M
 PADMABANDU GAMARALALAGE G

(30)Priority

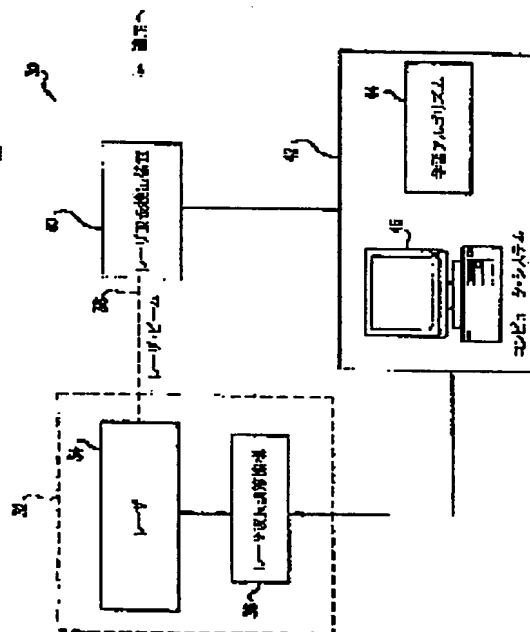
Priority number : 2000 501160	Priority date : 09.02.2000	Priority country : US
2000 597812	19.06.2000	
2000 608543	30.06.2000	US
		US

(54) LASER BANDWIDTH CONTROLLING TECHNOLOGY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a technology for controlling the bandwidth of output beam, related to laser.

SOLUTION: A technology for controlling bandwidth of electric discharge laser is provided. A line narrowing device comprises at least one piezoelectric drive device and fast bandwidth detecting means as well as bandwidth control for response time less than 1.0 millisecond. In a preferred application, a wavelength synchronization mirror is dithered at a pivot angle within a very narrow range at a dither speed exceeding 500 dither/second, allowing the dither of nominal wavelength to generate an effective bandwidth targeted by a series of laser pulses.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.02.2001
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
 [Date of final disposal for application]
 [Patent number]
 [Date of registration]
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the approach of bringing about the effective bandwidth of the pulse laser beam of narrow-band electric discharge laser with a Rhine narrow INGU unit including a diffraction grating and high-speed interlock mechanism. A) The phase which supervises said laser beam in order to measure the bandwidth of the pulsed laser pulse according to individual, B) In order to make the average spectrum which has the average spectrum deflection from target wavelength almost equal to target deflection to a series of pulses and which was mostly concentrated on said target wavelength So that the wavelength of some pulses of said a series of pulses may be more slightly [than said target wavelength] long and said wavelength of some pulses of said a series of pulses may become short slightly rather than said target wavelength The approach characterized by including the phase of adjusting said interlock mechanism periodically between said a series of pulses.

[Claim 2] Said Rhine narrow INGU unit is an approach according to claim 1 characterized by including a piezo-electric driving gear unit.

[Claim 3] Said Rhine narrow INGU unit is an approach according to claim 2 characterized by including the alignment mirror driven by said piezo-electric driving gear unit.

[Claim 4] The bandwidth of said individual pulse is [the phase which measures the slit function of a spectrometer, the phase which measures a raw data spectrum, the phase of collapsing said slit function in said raw data spectrum in order to make the front convolution spectrum which determines the width of face WFC of a front convolution spectrum, and the width of face WR of said raw data spectrum to said laser, and] presumption of the width of face WT of a true spectrum to said laser $WT=WR - (WFC-WR)$

The phase calculated by the equivalent formula and the approach according to claim 1 characterized by what it is alike and opts for more.

[Translation done.]

* NOTICES *

JP0 and NCIP1 are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] the serial number 09th of the June 19, 2000 presentation which was continuation application the part with the serial number 08th current [of July 22, 1997 presentation / whose] is United States patent No. 6,078,599 as for this invention / No. 898 or 630 and the serial number 09th of February 9, 2000 presentation / No. 501 or 160 / No. 597 or 812 — it is continuation application a part. This invention relates to the technique which controls the bandwidth of an output beam in a detail about laser.

[0002]

[Description of the Prior Art] (Wavelength control) Laser is used in many applicable fields. For example, laser like KrF and an ArF excimer laser is used in a stepper and scanner equipment, and exposes a photoresist alternatively in a semiconductor wafer production process. In such a production process, the optical equipment in a stepper and a scanner is designed for the specific wavelength of laser. Since the wavelength of this laser may be [/ time amount] unsteady, generally a feedback circuit network is adopted, and it detects the wavelength of laser, and amends wavelength if needed.

[0003] In one type of the feedback circuit network used in order to detect and adjust the wavelength of laser, an etalon receives a part of light emitted from laser. This etalon makes the interference fringe by the laser beam which has this cardiac band of dark and ** level for destructive and constructive interference. This cardiac band of this encloses the central bright part. The location of the bright central part of this interference fringe is used in order to measure wavelength comparatively coarsely like within the limits of five picometer (pm). The diameter of the band of light is used in order to measure the wavelength of laser from 0.01 to a precision like within the limits of 0.03pm(s). The width of face of a light pattern region is used in order to measure the spectral band width of a laser output. This interference fringe is usually called a fringe pattern. This fringe pattern is optically detectable with a highly sensitive photodetector array.

[0004] In alignment of laser wavelength, various approaches are learned well. Generally, this alignment is performed in a Rhine narrow INGU package or the equipment called a Rhine narrow INGU module. The general technique which narrows the line of an excimer laser, and is used in order to align is preparing an aperture behind a discharge cavity, and a part of laser beam passes through that in a Rhine narrow INGU package. Then, a part of the beam can be extended in a beam expander, it is sent to a diffraction grating, originally [of laser] a diffraction grating reflects and returns the narrow selected part of a large spectrum in a discharge chamber, and the part chosen there is amplified. Laser is aligned by generally changing the include angle at which a beam illuminates a diffraction grating. This can be performed by whether the location of a diffraction grating is adjusted, or a mirror adjustment is formed in a beam path. The device called a laser wavelength regulatory mechanism can perform accommodation of the location of this diffraction grating, or the location of a mirror to below.

[0005] In the conventional technique, a common feedback circuit network is constituted so that it may maintain to aiming at nominal wavelength wavelength within the limits. The usual specification can be established to values of the wavelength which sets this range as 248 and a target like 327.1pm so that it may be applied to the average wavelength of a series of pulses called a "pulse window", such as **0.05pm. The usual pulse windows are 30 pulses. Another general specification is the standard deviation of the wavelength measured to a series of (it is (like 30 pulses)) pulses. This value is called a sigma (sigma) and calculated using the standard formula for standard deviation. Moreover, a specification is described by 3sigma of the sometimes measured standard deviation which is only 3 times. General 3sigma specification may be 0.15pm.

[0006] The limit of the optical lens ingredient received in use of the deep ultraviolet radiation line whose wavelength is 248 nanometers (nm) and 193nm has meant that the projection lens for KrF and ArF lithography has been manufactured mainly with the fused quartz. Although a fused quartz is a very good lens ingredient (high transparency, low-fee expansion, comparatively polishing and a cone), it brings chromatic aberration as the result that the 2nd ingredient class with a different refractive index in a projection lens cannot be used. Since the refractive index of any optical materials changes with wavelength, chromatic aberration appears, therefore the imaging property of a lens also changes in connection with wavelength.

[0007] The harmful effect of chromatic aberration to a non-amended lens can be eased only by using the light source using the very narrow wavelength range. The excimer laser by which Rhine narrow INGU was carried out in spectrum was useful to the purpose to deep ultraviolet-rays lithography. Today's laser has the bandwidth of the range below the picometer, and brings about the lighting of a single color mostly to a refraction projection lens. Although the bandwidth of an excimer laser is small, it still means too that bandwidth cannot disregard that there is no color correction of a lens.

[0008] Bandwidth of a laser beam is usually made small by using the Rhine narrow INGU package referred to above. In the past, the laser specification required that bandwidth should be smaller than a specific value like 0.5pm(s). This specification is directing 95% of total bandwidth again. Probably, the usual 95% all bandwidth specification will be smaller than a 1.2 Py Py em (ppm). However, the integrated-circuit manufacturer has recently noticed that an integrated circuit can receive a bad influence from the bandwidth with which the optical system was designed for [the] bandwidth with narrow band width of face considerably.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Therefore, not saying [being only smaller than specific width of face] the bandwidth of laser but the technique rather controlled to specific within the limits is required.

[0010]

[Means for Solving the Problem] This invention offers the bandwidth control technique of electric discharge laser. Rhine narrow INGU equipment is prepared so that it may have at least one piezo-electric driving gear, high-speed bandwidth detection means,

and bandwidth-control with the time response of less than about 2.0 mses. A wavelength alignment mirror makes the effective bandwidth which a dither is carried out at the dither rate which exceeds per second 500 dither with the **** include angle of very narrow within the limits, and is made into the target of a series of laser pulses at the dither of the nominal wavelength generate in a desirable operation gestalt.

[0011]

[Embodiment of the Invention] (Simulation) Simulation of the effect of wavelength and bandwidth change was carried out by this person. The main effects of exposure wavelength change to a color-correction-less lens are change of the location of a focal flat surface. Covering the wavelength of the quite large range, change of this focus is a line type at the change in the nominal wavelength (namely, main wavelength of a lighting spectrum), and an essential target. The wavelength response of a lens can be experimentally measured by changing the main wavelength of laser manually, and using the image sensor of a stepper, and supervising migration of the focus which it brings about. Drawing 1 shows the example of such measurement.

[0012] When change of the focus accompanying wavelength change is given, using a broadband lighting spectrum means that each wavelength in the spectrum makes an air image with the various best foci. A synthetic air image serves as the sum total of the air image in each focal location, and weighting is carried out by the relative reinforcement of each wavelength in this lighting spectrum. This technique is based on superimposed focal spot flat-surface exposure. The latest edition of PROLITH/2 (available from Finley (FINLE) Technologies, Incorporated of the Texas Austin whereabouts) of a computer program has incorporated this kind of effectiveness.

[0013] The actual laser spectrum measured to various commercial laser was used in this activity, and the property of a laser spectrum was searched for. Drawing 2 shows the example of a different KrF laser spectrum. In order to understand the effect of the laser bandwidth about RISOGURAFU processing in case chromatic aberration exists, we were started from air image investigation of a 180nm independent line. Drawing 3 shows how the changing bandwidth affects an air image (it is usually assumed that this image dimension corresponds to a 0.3 image value on the strength). The following input parameters were used to such simulation. That is, they are $NA=0.6$, $\sigma=0.75$, and $\lambda_0=248.3271\text{nm}$. A laser spectrum and the source of the homogeneous light with bandwidth 0.5pm, 1.2pm, and 2.1pm were used in this simulation investigation by FWHM, and 0.225 microns (micrometer) of chromatic-aberration focal responses and pm were assumed. Change of bandwidth causes a remarkable change of image reinforcement so that it can see to drawing 3.

[0014] The effect of the laser bandwidth about critical size (CD) change of the independent line by various scales was evaluated using the air image threshold model. The following input-parameter setup was used in this investigation. namely, $\sigma=0.75$ and $\lambda_0=248.3271\text{nm}$, the air image threshold in 30%, $NA=0.6$, and 0. — it is 7 and 0.8. Simulation was carried out to the independent line of the range of 240 to 140nm. As for the chromatic-aberration response, 0.225 micrometer/pm was assumed. As shown in drawing 4 A, and 4B and 4C, change of bandwidth (either increase or reduction) can be especially resulted in a considerable change to the critical size of an integrated-circuit track in high numerical aperture.

[0015] (Dependency of the bandwidth to F2 concentration) It is known that both the laser effectiveness of an excimer laser and bandwidth may change with fluorine concentration extremely. Since the general fluorine concentration of an excimer laser is exhausted only about 0.1 to 1% per hour when operating under the general activity ratio of a lithography system, this change is serious and is obtained. The general approach of laser control is the basis of the effect of about 2 to 4 hours until fluorine concentration decreases only about 10%, and pulse energy feedback system, and by raising discharge voltage gradually, while a fluorine is exhausted, it maintains a fixed pulse energy output. At this time, a fluorine is poured in and, as for a pulse energy feedback control system, discharge voltage is reduced immediately. The result of these operating instructions is a deflection with remarkable bandwidth, it influences bandwidth as mentioned above and an integrated-circuit pattern is influenced by the method of as a result showing change of bandwidth in drawing 1. One of the techniques which minimum-ize time fluctuation of bandwidth is maintaining fluorine concentration almost uniformly. Since a fluorine is continuously poured in at a very low rate according to consumption or continuous impregnation approximation is carried out as a matter of fact, this can be performed by performing "microinject" at very frequent spacing.

[0016] (Wavelength amendment device) Drawing 5 shows the desirable operation gestalt of the wavelength shift amendment system 30 for laser system 32. Laser system 32 contains tunable laser 34. In one operation gestalt, laser 34 is an ultraviolet-rays (UV) excimer laser, and emits the pulse of laser energy. Laser system 32 adjusts the wavelength of laser 34 again including the laser wavelength regulatory mechanism 36. In one operation gestalt, although the laser wavelength regulatory mechanism 36 is limited, it can continue and align laser 34 with the comparatively big range between about 10 to 20 mses which can be aligned. Smaller accommodation can be performed more at a high speed. The laser wavelength regulatory mechanism 36 may be what kind of known wavelength regulatory mechanism. In a desirable operation gestalt, the laser wavelength regulatory mechanism 36 contains the stepper motor or piezoelectric transducer which controls the include angle at which the laser beam which is aligning illuminates the diffraction grating prepared in the Rhine narrow INGU module. This diffraction grating reflects narrow-band wavelength for a duplicate, and returns it in a laser excitation chamber. These wavelength regulatory mechanisms are well-known with the conventional technique.

[0017] (Laser wavelength detection) When laser 34 is operated by a certain application as in the stepper for wafer manufacture, a part of the emitted laser beam 38 is turned to laser wavelength detection equipment 40. Former-equipment is sufficient as laser wavelength detection equipment 40, and it detects the wavelength of a laser beam 38. The further detail about the optical member which detects the wavelength of suitable laser and a laser beam, and aligns is transferred to this grantee, and can be found out in a patent of the following by which the whole is referred to at this specification. Namely, United States patent No. 5,025,445 of a name called "the system which adjusts light beam wavelength and approach" which were given to Stewart Anderson and others, United States patent No. 5,420,877 of a name called "the temperature-compensation method for a wavemeter and the equipment, and the tunable laser controlled by that cause" given to Richard sand SUTOROMU and others, United States patent No. 5,095,492 of the name the "spectrum narrow INGU technique" given to Richard sand SUTOROMU, And it is United States patent No. 5,450,207 of a name called "the approach of proofreading a laser wavelength controlling mechanism and equipment" which were given to Igor HOMENKOFU. The exact technique used in order to bring about precision wavelength detection is not related to this invention.

[0018] Laser wavelength detection equipment 40 is correctly changed into a digital signal, in order to use the property of a laser beam 38 of a certain kind in the processing circuit of an addition like the chirp acquisition system 42 explained in full detail below. A digital signal can be used for this additional processing circuit, it controls the wavelength of the laser 34 which can be aligned, and judges other various properties of a laser beam 38. laser 34 is mechanical and optical — or — being chemical (for example, thing for which mixing of the gas of laser 34 is controlled) — although it can align, the exact approach used in order to align laser

is not related to this invention.

[0019] In one operation gestalt, laser 34 emits per second 1000 or more-pulse pulse. Ideally, laser wavelength detection equipment 40 detects each pulse wave length of the pulse burst from laser 34. Instead, laser wavelength detection equipment 40 may detect the wavelength of the subset of the pulse extracted from the pulse burst from laser 34. Any techniques which are used in the industry or are described in all publications in order to measure the wavelength of the pulse of a laser beam 38 in the precision of 0.03pm(s) from 0.01 in one operation gestalt may be used. The example of various wavelength detection techniques and equipment is explained in the above-mentioned patent currently referred to at this specification.

[0020] (High-speed wavelength amendment using a piezoelectric transducer) From drawing 6, in order to make drawing 11, drawing 12 D from drawing 12 A, drawing 13 A, and drawing 13 B **** an alignment mirror, they explain the wavelength high-speed amendment technique of using the extremely quick response of a piezoelectric transducer.

[0021] (High-speed wavemeter) In order to bring about high-speed control of wavelength which is a time interval shorter than the time amount (they are 0.5 mses for 2000 Hertz laser) of pulse separation, wavelength measurement more nearly high-speed than interpulse time needs to be possible. The common conventional technical lithography laser needs 2 mses for measuring wavelength generally. Explanation of the wavemeter and technique which measure wavelength is prepared in United States patent No. 5,991,324, and the whole is referred to at this specification. It is explanation of a similar wavemeter, and in order that the wavemeter may record required data, modification is performed, and the following performs required count and determines wavelength at the rate for less than 420 microseconds.

[0022] As shown in drawing 6, the output beam from a laser chamber intersects the partial reflection mirror 170 which is made to pass about 95.5% of beam energy, and reflects about 4.5% in a wavemeter 120. About 4% of the reflected beam is reflected by energy detection equipment 172 by the mirror 171. As for energy detection equipment, a photocell can measure the energy of each pulse which the repetition rate has generated by per second 4,000 or more pulses including the ultra high-speed photocell 92. General pulse energy is an about 10mm joule. The output of detection equipment 69 A computer control system 102 (drawing 12) is supplied. A computer control system In order to control a laser charge electrical potential difference using a special algorithm (explained to United States patent No. 6,005,879 currently referred to at this specification) and to restrict energy fluctuation of each pulse, and the whole pulse burst energy, Based on the saved pulse energy data, the pulse energy of a pulse will be controlled correctly in the future. Above all are explained below.

[0023] It is reflected by the mirror 174 through a slit 177 by the mirror 173, and further, about 4% which passes a mirror 171 of a beam returns to a mirror 175, and it is reflected a mirror 174 and on the echelle diffraction grating 176. A beam is made parallel with the lens 178 with the focal distance (mm) of 458.4 millimeters. the light reflected from the diffraction grating 176 — a lens 178 — passing — return — again — mirrors 174 and 175 — and it is again reflected by 174, and, subsequently is reflected by the mirror 179, and focusing is carried out on the left-hand side of the line type photodiode array 180. The current beam position on this photodiode array is the scale that the relative nominal wavelength of an output beam is rude. It is reflected from a mirror 182 and about 90% which passes a mirror 173 of a beam goes in an etalon 184 through a lens 183. Focusing of the beam which comes out of an etalon 184 is carried out with 458.4mm focal length lens of an etalon, and as shown in drawing 6, after being reflected from two mirrors, it makes an interference fringe on the center of a line type photodiode array, and right-hand side.

[0024] (Line type photodiode array) The line type photodiode array 180 is an integrated circuit chip containing the individual photodiode integrated circuit of 1024, an attached extract, and a maintenance readout circuitry. This photodiode has the pitch of 25 microns to the overall length of 25.6mm (about 1 inch). Each photodiode is 500-micron length. Such a photodiode array is available from some selling agencies. A desirable supplier company is HAMAMATSU. In one desirable operation gestalt, model S3903-1024 are used and it can read a perfect 1024-pixel scan by 2.5x106 pixels/second in rate in the FIFO base which can be read at the rate exceeding 2000 Hertz. A more nearly high-speed array is model RL2048PAQ, and is supplied by easy — of the California Sunnyvale whereabouts, and — G RECHIKON (EG&G Reticon). This PDA can be read by 2,048 pixels in the frame rate of 16.875kHz.

[0025] (Count of rough wavelength) the rough wavelength optic of the wavemeter module 120 — about 0.25 — a mmx3mm rectangle image is made on the left-hand side of the photodiode array 180. Ten or eleven photodiodes which were illuminated make the signal proportional to the reinforcement of the lighting which received light generated, and the signal is read by the processor of the wavemeter control device 197, and is digitized. Using this information and a interpolation algorithm, a control unit 197 calculates the center position of an image. Two proofreading multipliers are used for this location (measured by the pixel), and it assumes line type relation between a location and wavelength, and is changed into a rough wave number. These proofreading multipliers are decided on the basis of the atom wave length reference source explained below. For example, the relation between an image location and wavelength will become the following algorithms by making P into a coarse image center position.

$\lambda = (2.3 \text{ pm/pixel}) P + 248, 350 \text{ pm}$ [0026] (High-speed count of precision wavelength) A spectrometer must measure wavelength and bandwidth in the real time mostly. Although it is exact in order to attain the target engine performance using the economical and compact electronic instrument for processing since the repetition rate of laser is 2kHz or more, it is required to use the algorithm which is not a count concentration mold. This person uses an integral value to floating point calculation, and, as for all operations, what is been linearity (or a square root, a sine, a logarithm, etc. are used) is desirable.

[0027] The concrete detail of the desirable algorithm used in this desirable operation gestalt is explained below here. Drawing 6 B is a curve with five peaks so that it may be shown, and it expresses the general etalon interference signal at the time of being measured by the line type photodiode array 180. As for a main peak, height is low drawn rather than others. If various wavelength of light goes into an etalon, a main peak will go up and descend and will become zero occasionally. This mode carries out unsuitable ** of the main peak to wavelength measurement. Other peaks will separate from it toward a main peak according to change of wavelength, and will be moved, these peak location determines wavelength, and, on the other hand, those width of face becomes the die length of the bandwidth of laser. The field displayed as the "data window" is shown in drawing 6 B. This data window is prepared so that the fringe nearest to a main peak may be standardly used as an object for analysis. However, wavelength changes, when moving this fringe so that a main peak may be approached too much (it will cause distortion and will bring about an error as a result), the peak near the 2nd becomes inside a data window, and software will fly at that peak. On the contrary, wavelength shifts, and when detaching and moving a current peak from a main peak out of a data window, software will fly at the inside fringe in a data window.

[0028] The related phase is as follows.

1. After a laser pulse, the output of a photodiode array is read electronically and digitized. spacing a data point is physically decided to be with spacing of a photodiode array member, and this case — the pitch of 25 microns — it comes out and

dissociates.

2. This digital data is investigated in order to find out the peak intensity value of a data window. The peak location before that is used as a start point. A small field is investigated by right and left of a start point. This investigation field is extended to right and left at small spacing until a peak is discovered. When a peak is outside a data window, investigation will be automatically continued until other peaks are discovered.

3. Based on peak intensity, as shown in drawing 6 A, level is calculated 50%. 0%, level is periodically measured in pulse separation. It is investigated until the data point which each point is right and left of a peak, and defines the boundary of level 50% based on calculated 50% level is found out. In order to find out the mesial magnitude location displayed by A and B in drawing 6 A, linear interpolation is calculated between one pair of points of defining the boundary of level 50%. An integer-data format is used for these locations, and they are calculated to the fraction of a pixel like 1/16.

4. Phases 2 and 3 are repeated to two data windows, and give four interpolated 50% locations in total. Two diameters are calculated as shown in drawing 6 B. D1 is an inside fringe diameter and, on the other hand, D2 is an outside fringe diameter.

5. The approximate value over wavelength is determined by the rough wavelength circuit as explained by the foregoing paragraph "count of rough wavelength."

[0029] (Count of precision wavelength) The inside and the outside fringe diameters D1 and D2 (a unit is a pixel) are changed into wavelength by the following formulas, respectively.

$\lambda = \lambda_0 + C_d(D_2 - D_0) + N - \text{FSR}$ — the free spectral range of an etalon and N of the proofreading constant corresponding to proofreading wavelength in the wavelength corresponding to a diameter D and λ_0 to which the diameter corresponding to wavelength λ_0 in D0 and C_d depend for λ on an optical design here, and FSR are an integer 0, **1, **2, **3, and ...

[0030] The value of λ_0 , K1, FSR, and D0 is judged and saved at the time of proofreading. By making λ_C into rough wavelength measured value, the value over N is chosen so that it may be $|\lambda - \lambda_C| \leq 1/2\text{FSR}$. For example, in a desirable operation gestalt, criteria wavelength $\lambda_0 = 248$ and 327.1pm (it corresponds to the absorption line of a hollow iron anode plate lamp) are chosen. Under this wavelength, the fringe diameter D0 will be found out with 300 pixels. C_d is a constant and each of also measuring directly and things to calculate from an optical design is possible. In a desirable operation gestalt, it is a $C_d = -9.25 \times 10^{-5}$ pm/square pixel. A fringe diameter may be measured with 405 pixels using the laser which follows, for example, is operating under various wavelength. Wavelength possible at count by the formula (1) $\lambda = 248, 327.1\text{pm} - 9.25 \times 10^{-5}$ to 5 pm/square pixel $[(405)^2 - (300)^2] + N - \text{FSR}$ When 248 and a 333.95pm N=FSR free spectral range are FSR=20pm(s), the possible value to $\lambda = 248, 293.95\text{pm}$ N=-2248, 313.95pm N=-1248, 333.95pm N= 0248, 353.95pm N= +1248, 373.95pm N= +2 is included.

[0031] for example, rough wavelength — $\lambda_C =$ — when it is measured that it is 248 and 350, a processor will choose the value of $\lambda = 248$ and 353.95pm (N= +1) as a solution most approximated to λ_C . Each of the inside and the outside fringe diameters D1 and D2 as shown in drawing 16 B is respectively changed into wavelength λ_1 and λ_2 . The final value reported to laser wavelength is the average of these two calculated value. That is, it is $\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$.

[0032] (Count of bandwidth) The bandwidth of laser is calculated as $(\lambda_2 - \lambda_1) / 2$. A fixed correction factor is applied in order to take into consideration the natural width of the etalon peak currently added to true laser bandwidth. although a deconvolution algorithm is the formal approach for removing etalon natural width from measurement width of face mathematically — however, this — not much — being also alike — count — it is intensive and passes — it comes out, and since I will be, the fixed amendment $\Delta\lambda_{\text{etalon}}$ is subtracted and it brings about sufficient accuracy. Therefore, bandwidth is $\Delta\lambda = [(D_2 - D_1) / 2] - \Delta\lambda_{\text{etalon}}$. $\Delta\lambda_{\text{etalon}}$ is dependent on both an etalon specification and true laser bandwidth. Generally it is in the range of 1pm from 0.1 to the example of application explained here.

[0033] (Proofreading of wavelength) About 10% of the beam which passes a mirror 182 is reflected in the optical fiber input 188 from a mirror 186, and light progresses through an optical fiber and goes to the atom wave length criteria 190. Connecting [and] this optical fiber to the atomic comparing unit 190 by opening 191, it is reflected from a mirror 69, focusing of the light from an optical fiber is carried out to the focus of the core of the neon iron steamy cel 194 with a lens 193, and focusing is again carried out on a photodiode 196 with a lens 195. The atom wave length criteria unit 190 is used in order to proofread a wavemeter 120. This is performed by adjusting laser wavelength, while keeping constant the output energy shown by detection equipment 69, supervising the output of a photodiode 196. Although the photodiode 69 shows the nominal output, when a photodiode 196 shows a considerable output reduction, the wavelength of an output needs to be in agreement with the 248.3271nm iron steamy absorption line. As for the location data corresponding to the image made by the diffraction grating 176 on the location data corresponding to an etalon fringe in case the output of a photodiode 196 is min, and the line type photodiode 180, detection and record are made by the wavemeter control device 197, and this data is used in order to proofread a wavemeter 120 with the wavemeter control device 197.

[0034] (Microprocessor for wavelength measurement) Since the pulse separation of 2000 Hertz laser have only only 500 microseconds, in order to obtain an opportunity to amend the pulse which will happen from now on to the wavelength error of the pulse preceded just before that, wavelength must be calculated by the time amount which is considerably less than 500 microseconds. As mentioned above, the photodiode array 180 can be read by 2x106 pixels/second in rate. Data are read into buffer memory so that data processing can be started between read-out. Data processing needed in order to perform above-mentioned count is the model 68332 preferably supplied from Motorola Corporation. It is carried out using a 25MHz microprocessor. It remained and this person judged that over clock could be carried out in order [this] to run the processor which is not expensive by 43MHz, without being accompanied by performance degradation. In one desirable configuration, it is read from PDA180, the above-mentioned wavelength count is made among 420 microseconds, and all data give 80 microseconds to moving a mirror 14 before the following burst.

[0035] (Amendment of bandwidth) Although the measurement of band width performed by the spectrometer equipment shown in drawing 6 brings about larger bandwidth than true wavelength, it is because it, i.e., all spectrometers, has the spectrum of itself called the "slit function" which is the spectrum which will be displayed when a spectrometer supervises a monochrome beam. Since this person developed the technique amended to the measured spectrum at eye bracing to the equipments of drawing 6, he explains this technique below. Drawing 15 A shows qualitatively a common spectrometer slit function and a common true imagination spectrum. The measured spectrum will become the convolution of a slit function and the true spectrum of a laser beam. Therefore, a slit function must be removed in order to determine a true spectrum from the raw spectrum data of discharge-in-gases laser. If it is going to perform this mathematically, the result of being very difficult will be brought.

[0036] The simple technique of this person who amends raw spectrum data is very simple, and more moderate compared with the

conventional technique. This technique relates to the following phases.

- 1) Measure the slit function of spectrometer equipment mostly using a monochromatic laser beam.
 - 2) Measure the spectrum of actual discharge-in-gases laser using the same spectrometer.
 - 3) Calculate the width of face WR of the raw discharge-in-gases laser-spectrum data measured by the spectrometer.
 - 4) Collapse a slit function and raw discharge-in-gases laser data.
 - 5) Calculate the front convolution width of face WFC of the obtained convolution spectrum.
 - 6) Calculate the approximation width of face WT of a true discharge-in-gases laser spectrum using a degree type.
- $WT=WR-(WFC-WR)$

Such W may be any of some spectral band width, such as FWHM or total 95% bandwidth specification.

[0037] (High-speed mirror accommodation) Drawing 12, and 12A and 12B show the device in which high-speed accommodation of a mirror 14 is permitted. Although this operation gestalt is serious improvement in a rate as compared with an above-mentioned stepper motor drive system, it is not necessarily a high speed very much, so that it is enough to perform accommodation to a pulse from a pulse. As for the approach before relating with mirror positioning, it was out of the question as above-mentioned to have needed about 7 mses for moving a mirror 14, and to have performed wavelength amendment of a pulse to a pulse by 2000 Hertz. In the technique of the before, the lever arm ****(ed) to the perimeter of a pivot, and the reduction in mirror migration of 1 to 26.5 was brought about as compared with migration of a stepper location. The stepper in the conventional technique has 1/2 inch (12.7mm) migration and 6000 steps on the whole, consequently each step is made into distance and is about 2 microns. If reduction in 1 to 26.5 is performed, one step will be about 75nm migration, and, generally it will carry out about 0.1 pm change of the wavelength of laser wavelength. In the technique which acts at the high speed shown in drawing 12 A, the piezo-electric stack 80 was added to ***** of a lever arm. A desirable piezo-electric stack is the model P-840.10 supplied by the FIJIKU INSU torr maintenance limited liability company of the BAL TOBURON whereabouts of Germany. [0038] This stack will bring about about 3.0-micron linearity accommodation by 20-volt driver voltage change. This range is equal to about **20 step of a stepper motor. This stack can answer within less than 1 microsecond to a control signal, and a system can answer easily the signal updated on the frequency of 2000 Hertz. In a desirable operation gestalt, the control to each of the pulse of a 2000 Hertz pulse repetition rate gives sufficient time amount from the pulse in front of one to wavelength count based on a former pulse rather than is based on the pulse in front of one. However, this operation gestalt has the latency time of 7 mses, and brings about a 7 times as many improvement as this compared with the design of the conventional technique. Therefore, still more nearly high-speed feedback control can be brought about. One desirable feedback control algorithm is explained to drawing 12 C. In this algorithm, wavelength is measured to each pulse and the average wavelength of the pulse of the four last and the two last is calculated. Accommodation is not performed when the gap from target wavelength of the average of any is less than 0.02 pms. When both shift from a target exceeding 0.02pm(s), accommodation is made by the piezo-electric stack 80 to a mirror assembly, and wavelength amendment is performed. After being adjusted by which [of two averages] is used, and the last, which is judged by whether much time amount passed. If the stack approaches to 30 of the range, and 70% (or 45 and 55% can also be used instead of 30 and 70% of range in order to prepare the more nearly available range), a piezo-electric stack will be maintained in the control range, when a stepper motor carries out a step. Since a stepper motor needs about 7 mses for 1 step completion, an algorithm may carry out some piezo-electric accommodation between the steps of a stepper motor.

[0039] (Feedback control of a pulse to a pulse) Drawing 13 A and 13B can show the mirror control unit which enables high-speed mirror accommodation further rather than 80 microseconds, consequently can realize it by the basis whose amendment to a pulse from a pulse is 2000 Hertz of pulse repetition rates. In this case, piezo-electric accommodation is brought about to lightweight mirror 14A with bolting rib 14B which moves to mirror mount 86A which the piezo-electric stack 80 is permuted by metal support 80A, and has weight more instead. Mirror 14A is firmly held by the tension member 89 which can be adjusted to the spherical contact of the edge of Stacks 88A, 88B, and 88C.

[0040] In this operation gestalt, these piezo-electric stacks prepare very precise accommodation of the location of mirror 14A to mirror mount 86A. Like the above-mentioned example, since big accommodation is brought about by the stepper motor, its region of accommodation of the piezo-electric whole components 88A, 88B, and 88C may be very small like about 1.5 microns. The accommodation covering a very small distance like about 0.1 microns of this lightweight mirror with three piezo-electric components is the range for about 10 microseconds, and can be performed extremely at high speed. Accommodation of a mirror location can be adjusted by moving driving gear 88A to an one direction, and moving driving gears 88B and 88C to hard flow, or moving only driving gear 88A. Like [in the conventional example], the desirable control algorithm with which the outline is explained to drawing 12 D needs the step of a stepper motor, when a piezo-electric location reaches to the 30% of the minimum abbreviation of a control range, and a maximum of 70%. this brings about a control range without migration of the 160nm stepper motor which is equal to about 1.6 pm(s) (one piezo-electric driving gear is used — or it depends although it is three) from about 0.8 pm(s). Therefore, ultra high-speed piezoelectric control has sufficient range to control [which is generally in **0.10pm] all chirp fluctuation substantially, as shown in drawing 15 A. A bigger wavelength change is brought about by the stepper motor.

[0041] The algorithm by which the approximate account was carried out to drawing 12 D prepares the control to the pulse of laser wavelength from a pulse, and can be made to perform pulse [degree] amendment which used the ultra high-speed mirror design shown in drawing 13 A, and 13B and 13C. This algorithm awaits completion of Pulse N and redefines it as a pulse N-1 so that it may be explained to drawing 12 D. an algorithm — the wavelength of a pulse — measuring — it — a target pulse — comparing — and the stacks 88A, 88B, and 88C — or stack 88A is moved and target wavelength amendment is brought about. These all are preceded with Pulse N and performed, consequently at the time of Pulse N, it is moved and a mirror is a quiescent state. When one of the stacks separates from 30 to 70% of the range, a stepper motor performs a step. An algorithm will cause the migration to within the limits after that 30% to 70% of the stack from which the range separated. The location of a stack is based on those control voltage. The case of under a specific small value like 0.01pm(s) whose absolute values of $\delta\lambda_{\text{lambdaE}}$ are 20% to wavelength variation of one specification value, an algorithm can also be changed so that piezo-electric accommodation may not be performed.

[0042] (Preliminary alignment and positive alignment) The above-mentioned operation gestalt can be used for the purpose other than chirp amendment. In a certain case, the operator of an integrated-circuit lithography machine may wish modification of wavelength in the way decided beforehand. If it puts in another way, target wavelength λ_{lambdaT} will be able to use early historical wavelength data or other early parameters not according to fixed wavelength but according to a predetermined pattern, and will be able to change them by required frequency by the either as a result which updates learning algorithm periodically in succession.

[0043] (Measurement of a mirror location) By specifying a specific mirror location in a certain case, it is required to control wavelength and it obtains. This can be performed using the operation gestalt shown in drawing 14 and drawing 14 R>4A. In this operation gestalt, as shown in drawing 1414 B, a diode laser 86 supplies the beam reflected from mirror 14C, and focusing of that reflective beam is carried out to the photodiode array 90, and it determines ***** of mirror 14C. This equipment enables exact positioning of a mirror, without operating laser for actual wavelength measurement. This can become important when exact positioning of a mirror is required. In order that drawing 14 A may raise pivot measuring accuracy, the technique of increasing the optical distance between mirror 14C and PDA is shown.

[0044] (Detail design using a piezo-electric driving gear) Drawing 7 is drawing showing the detail description of the desirable operation gestalt of this invention. This design is similar to what is shown in drawing 12 A and drawing 12 B. A big change of the location of a mirror 14 is made by the stepper motor through the lever arm 84 of 26.5 to 1. In this case, the diamond pad 81 is prepared in the edge of the piezo-electric driving gear 80, and the spherical positioning ball of the supporting point of the lever arm 84 is contacted. The contact between the summit of the lever arm 84 and the mirror mount 86 is hung down even if it uses four spherical ball bearings (only the two are shown) with which it was equipped on the mirror mount as indicated to be the Dow-Jones pin on a lever arm in 85. It is equipped with the piezo-electric driving gear 80 on the LNP frame using piezo-electric mounting 80A, and a stepper motor uses stepper motor mount 82A for the frame, and it is equipped with it. It is equipped with a mirror 14 in the mirror mount 86 using three-point mounting for which only one of them uses three aluminum solid spheres shown in drawing 7. Three springs 14A applies the compressive force which holds a mirror to a solid sphere. Drawing 8 is a desirable operation gestalt which is different a little from what is shown in drawing 7. This operation gestalt isolates a piezo-electric driving gear from the environment inside LNP including bellows 87. This isolation avoids the contamination which may be caused by the generation of gas which prevents UV damage over a piezoelectric device, and comes out of piezoelectric material.

[0045] (Dither alignment mirror which approximates target wavelength) The above-mentioned monitor device and above-mentioned wavelength alignment device of wavelength and bandwidth make bandwidth control of a laser beam possible. This technique needs to supervise bandwidth using the wavemeter shown in drawing 6. When bandwidth is under target bandwidth, a wavelength control equipment is used, the dither of the mirror 14 is carried out at frequent spacing, and the way of a pulse to a pulse causes the very minute shift of a spectrum, consequently the average integral spectrum covering the window of a pulse approximates an almost fixed spectrum equipped with bandwidth similar to target bandwidth.

[0046] For example, in order to design the optical equipment to a scanner for the bandwidth of 0.4pm(s), to be able to make the perimeter of a nominal location carry out the dither of the mirror 14 when the bandwidth of reduction of fluorine concentration, therefore an individual pulse is 0.3pm(s), and to maintain the same nominal wavelength as the effective increment only in 0.1pm, a shift forward [of the nominal wavelength of about 0.05 pm(s)] and negative is made. Although the shift of wavelength of 0.05pm (s) is made for the general commercial excimer laser of the class examined above, the pivot location of a mirror 14 needs to be changed [about 2nm]. This change of a mirror location is easily brought about by the piezo-electric driving gear which is referred to above and shown in drawing as an item 80. Generally, in integrated-circuit manufacture, each spot on a wafer is usually illuminated using many pulses of the range of about 30 to 150 pulses, consequently each of a die spot receives a part of almost equal pulse from the both sides of a dither so that fully [a dither rate]. Therefore, when the number of the pulses which illuminate a spot is 30, a dither rate must be 1/4 of a pulse repetition rate at least. Therefore, a dither rate is at least 500 Hertz preferably, when a pulse repetition rate is 2000 Hertz. This does not pose a problem for the equipment referred to above and software.

[0047] (Deformable alignment mirror) Drawing 10 shows the segmented selection mirror and each of five mirror segments is controlled there by the piezo-electric driving gear 14B1-5 of itself. As for each of a segment, it is possible to make it operate by ultra high-speed. Since each horizontal position of a beam can control this operation gestalt separately, it has another advantage which improves the bandwidth of laser. In a desirable operation gestalt, each segment is controlled according to an individual using the feedback control system and software which were designed in order to maintain in the range which sets bandwidth as the targets within the limits of 0.03**0.02pm etc. This operation gestalt has PDA124 and measures the location of each segment again. With a mercury lamp 114, light is prepared and UV light passes a slit 116 and the colla tempestade MINETINGU lens 118 there. The beam in this case is expanded through the same beam expander as being used in order to expand a laser beam, and five small lenses carry out focusing of the light from each mirror to the separate part of PDA.

[0048] (Purification of a diffraction lattice plane) Although purification of a Rhine narrow INGU package is known, with the conventional technique, it is teaching making it a purification style not flow to a diffraction lattice plane directly, and, as a result, generally, a purification style is supplied through the port established in the location of diffraction lattice plane regions of back etc. Carrying out a deer, under the very high number of cycles, the layer of elevated-temperature gas (nitrogen) was formed on the diffraction-grating side, and this person discovered making wavelength distorted. The positive wavelength control considered above can amend this distortion partially at least. Another approach is purifying a diffraction-grating side, as shown in drawing 11 A, and 11B, 11C and 11D. In drawing 11 A, each stoma (spacing of 1mm or 1/4 inch) of the crowning of the purification tubing 61 with a die length [of 10 inches] and a diameter of 3/8 inch supplies a purification style. Other techniques are shown in drawing 11 B, and 11C and 11D.

[0049] Probably, it will be clear to this contractor that modification and correction do, without showing the specific operation gestalt of this invention, and deviating from the larger mode of this invention, although explained. For example, in the laser with which the line was narrowed partially, as for bandwidth, a line is narrowed using two or more prism, and a beam is reflected using an alignment mirror. Probably, this technique needs to carry out the dither of the alignment mirror. That it is also useful to removing the problem of coherence should understand these dither techniques. Therefore, the attached generic claim has the intention of including such all modification and corrections in the true pneuma and the true range of this invention.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP1 are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

- [Drawing 1] It is the graph which shows fluctuation by the wavelength of the best focus.
- [Drawing 2] It is drawing showing a common narrow-band discharge-in-gases laser spectrum.
- [Drawing 3] It is drawing showing fluctuation by the bandwidth of air image reinforcement.
- [Drawing 4 A] It is drawing showing fluctuation by the bandwidth of change of a critical size.
- [Drawing 4 B] It is drawing showing fluctuation by the bandwidth of change of a critical size.
- [Drawing 4 C] It is drawing showing fluctuation by the bandwidth of change of a critical size.
- [Drawing 5] It is the block diagram of narrow-band laser system.
- [Drawing 6] It is drawing of a wavemeter.
- [Drawing 6 A] It is drawing showing the count approach of wavelength.
- [Drawing 6 B] It is drawing showing the count approach of wavelength.
- [Drawing 7] It is drawing showing one desirable operation gestalt manufactured by this person.
- [Drawing 8] It is drawing showing one desirable operation gestalt manufactured by this person.
- [Drawing 9] It is drawing showing a test result.
- [Drawing 10] It is drawing showing the laser system constituted according to the desirable operation gestalt.
- [Drawing 11 A] It is drawing showing the technique which cools a diffraction-grating side in a desirable operation gestalt.
- [Drawing 11 B] It is drawing showing the technique which cools a diffraction-grating side in a desirable operation gestalt.
- [Drawing 11 C] It is drawing showing the technique which cools a diffraction-grating side in a desirable operation gestalt.
- [Drawing 11 D] It is drawing showing the technique which cools a diffraction-grating side in a desirable operation gestalt.
- [Drawing 12] It is drawing showing the technique proposed in order to bring about precise wavelength control at high speed.
- [Drawing 12 A] It is drawing showing the technique proposed in order to bring about precise wavelength control at high speed.
- [Drawing 12 B] It is drawing showing the technique proposed in order to bring about precise wavelength control at high speed.
- [Drawing 12 C] It is a flow chart explaining a wavelength control algorithm.
- [Drawing 12 D] It is a flow chart explaining a wavelength control algorithm.
- [Drawing 13] It is drawing showing the design of the heat exchanger which makes a different laser gas-temperature field to a laser chamber.
- [Drawing 14] It is drawing showing the gestalt of a desirable Rhine narrow INGU package.
- [Drawing 14 A] It is drawing showing the gestalt of a desirable Rhine narrow INGU package.
- [Drawing 14 B] It is drawing showing the gestalt of a desirable Rhine narrow INGU package.
- [Drawing 15] It is drawing showing the slit function in comparison with a true imagination spectrum.

[Description of Notations]

- 30 Wavelength Shift Amendment System
- 32 Laser System
- 34 Tunable Laser
- 36 Laser Wavelength Regulatory Mechanism
- 38 Laser Beam
- 40 Laser Wavelength Detection Equipment
- 42 Chirp Acquisition System
- 44 Learning Algorithm
- 46 Computer System

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

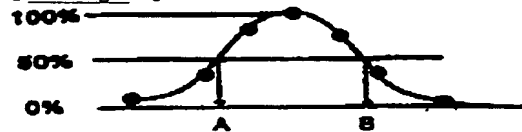
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.*** shows the word which can not be translated.

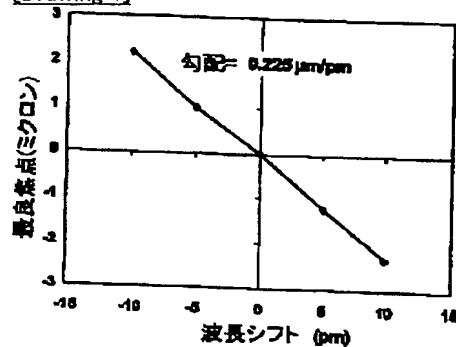
3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

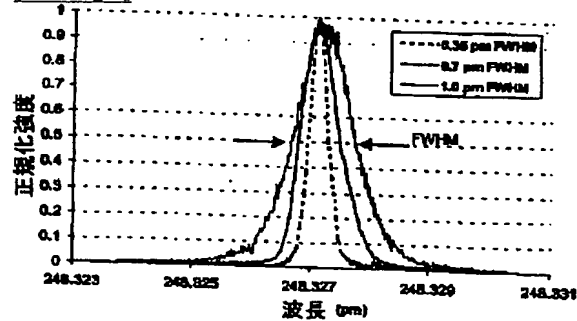
[Drawing 6 A]



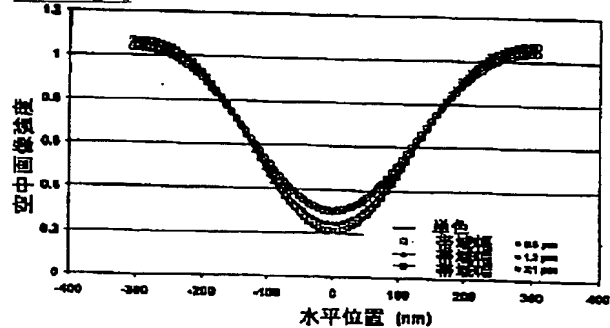
[Drawing 1]



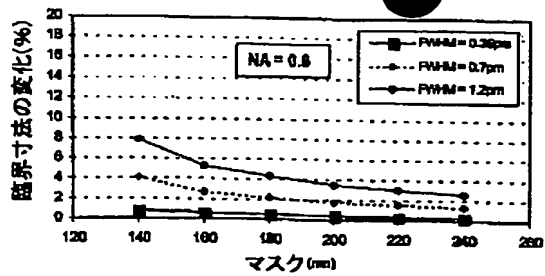
[Drawing 2]



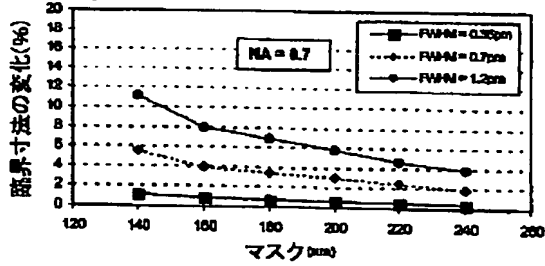
[Drawing 3]



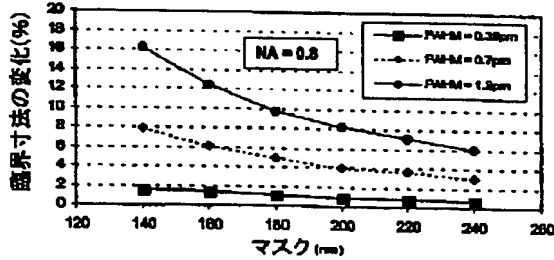
[Drawing 4 A]



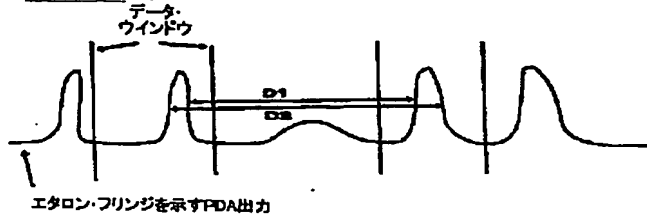
[Drawing 4 B]



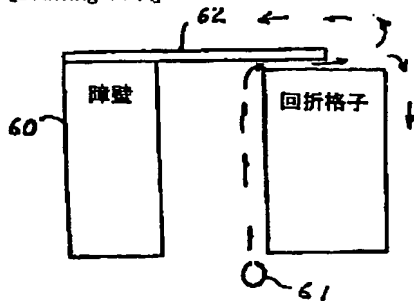
[Drawing 4 C]



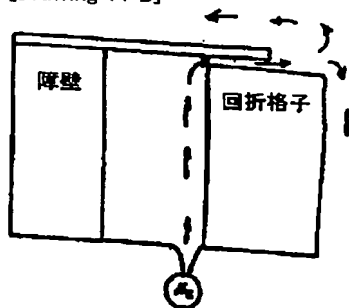
[Drawing 6 B]



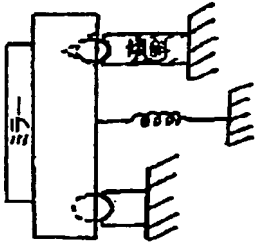
[Drawing 11 A]



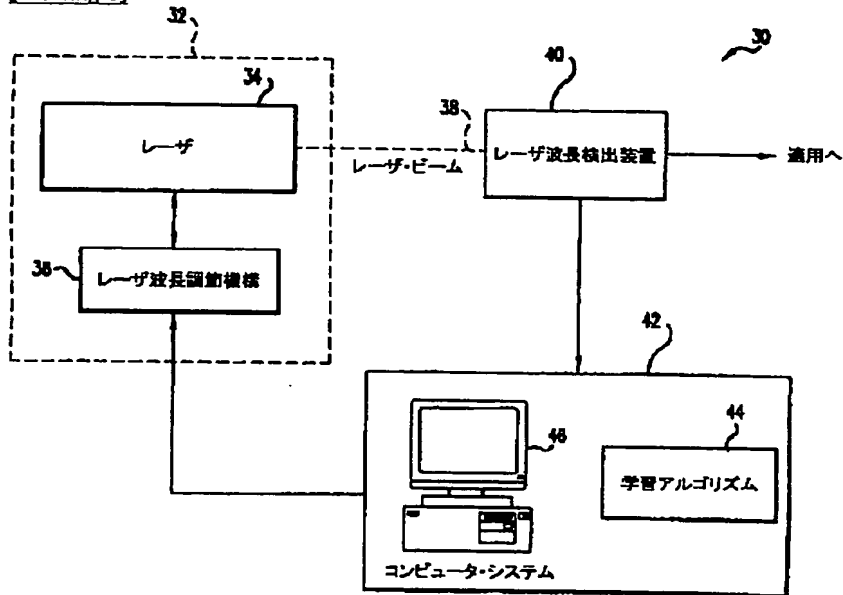
[Drawing 11 B]



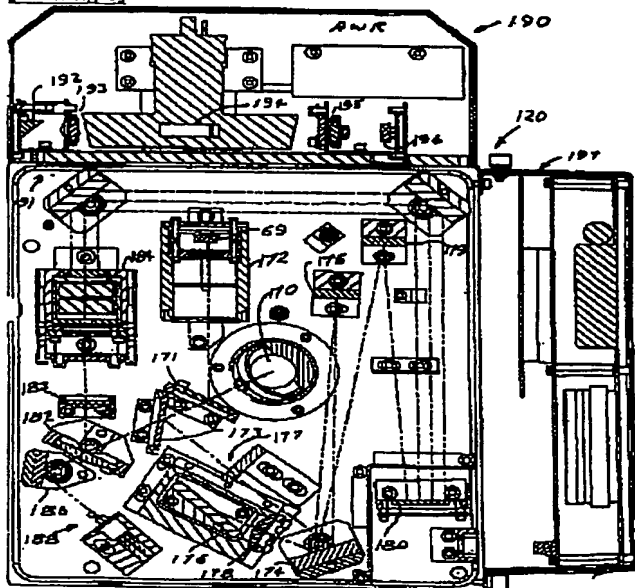
[Drawing 12 B]



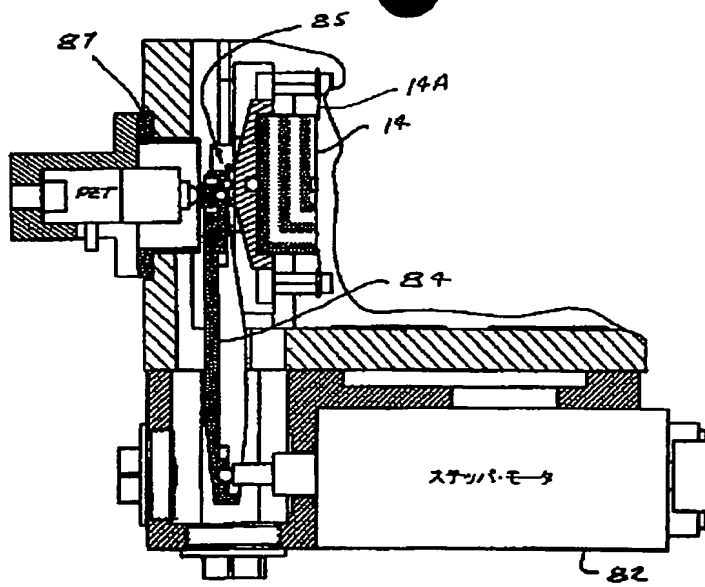
[Drawing 5]



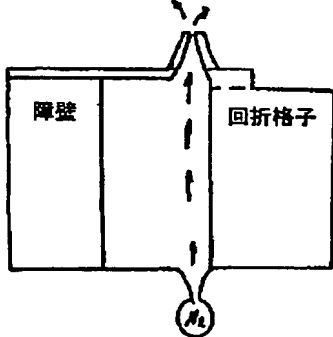
[Drawing 6]



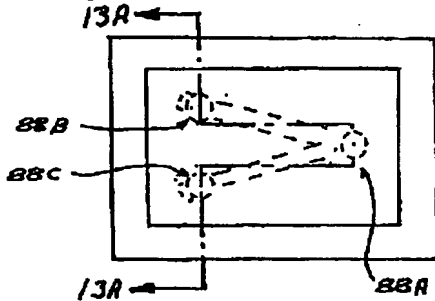
[Drawing 8]



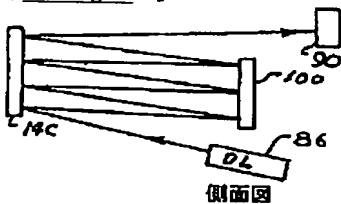
[Drawing 11 C]



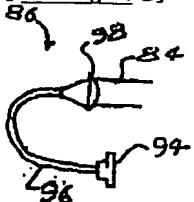
[Drawing 13 B]

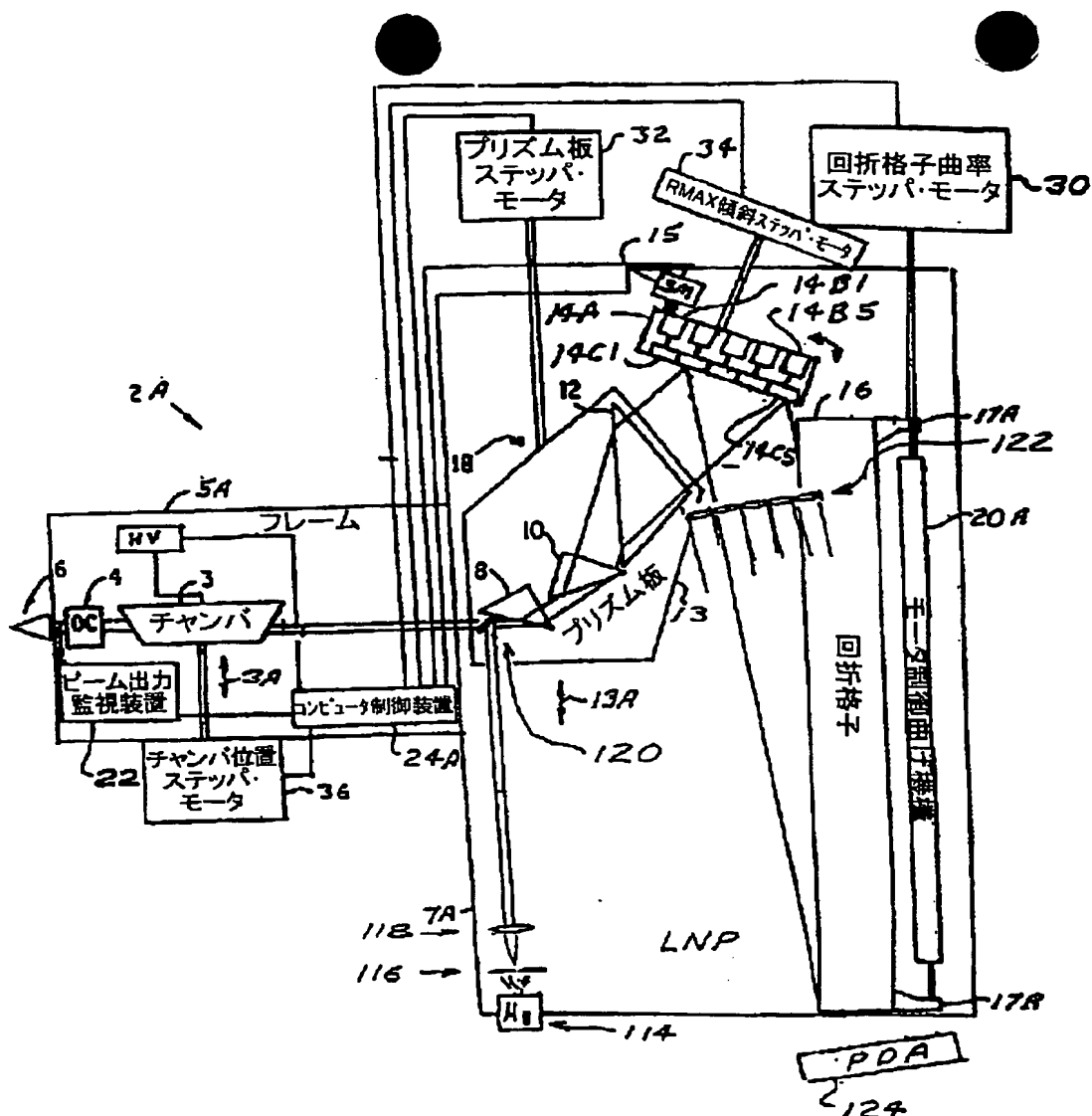


[Drawing 14 A]

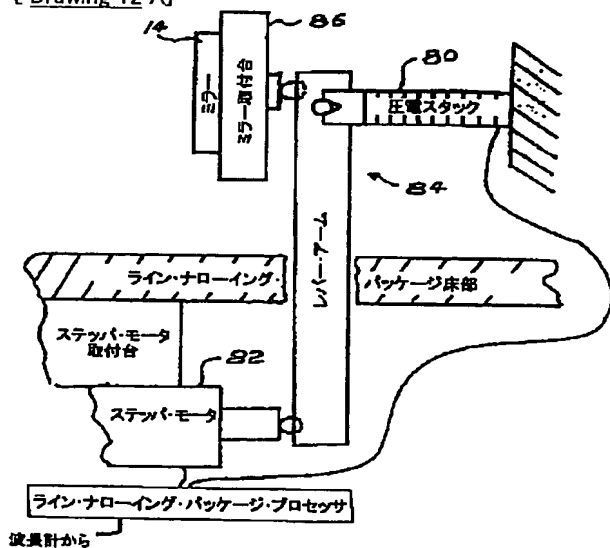


[Drawing 14 B]

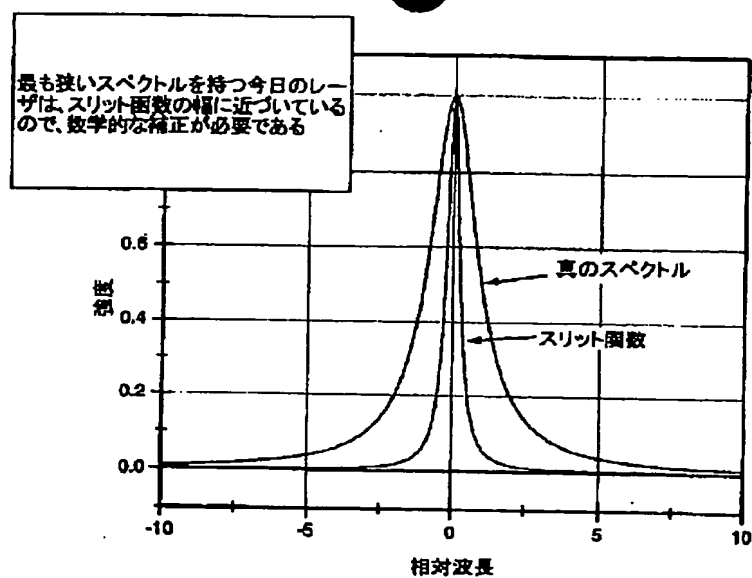




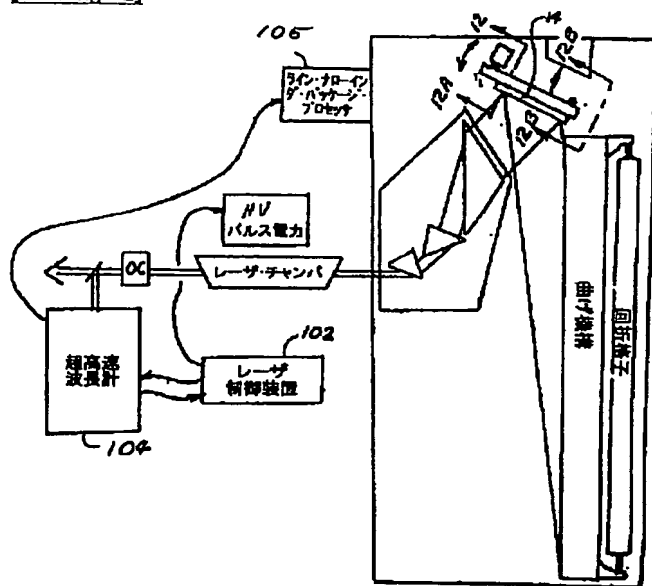
[Drawing 12 A]



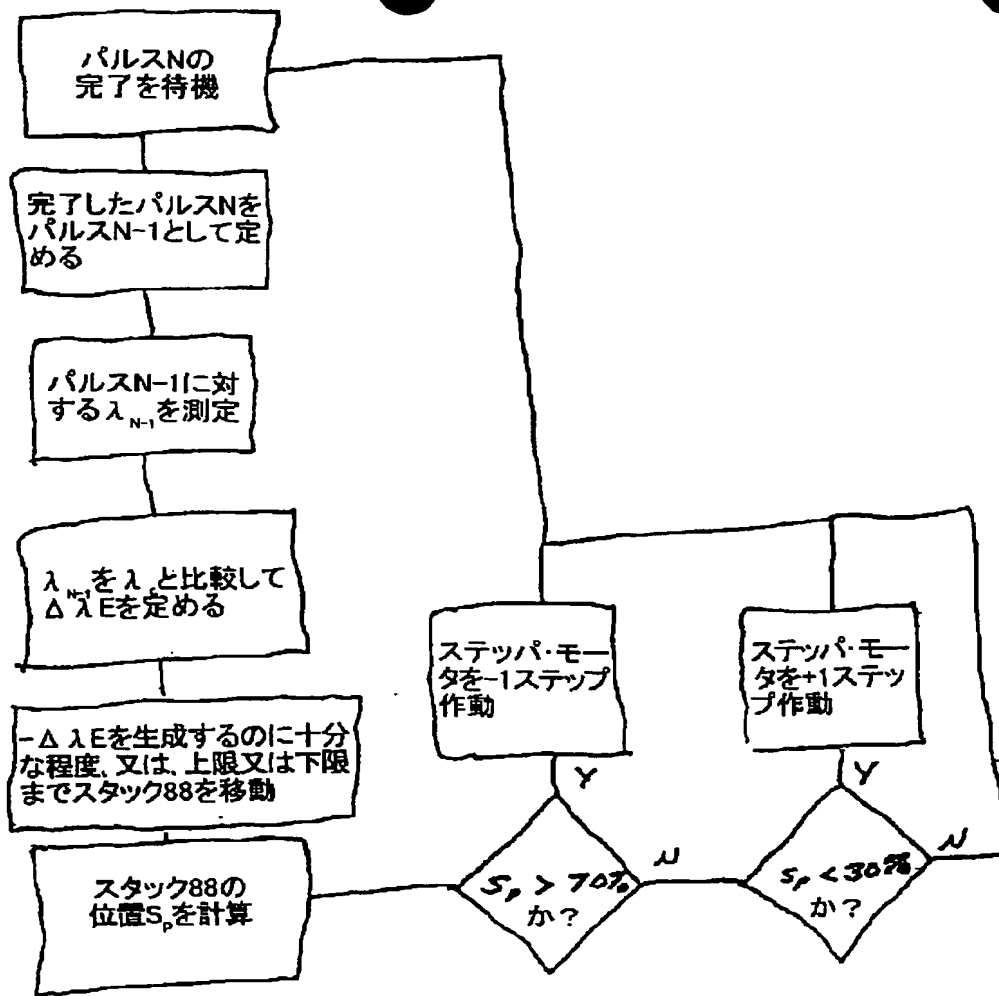
[Drawing 15]



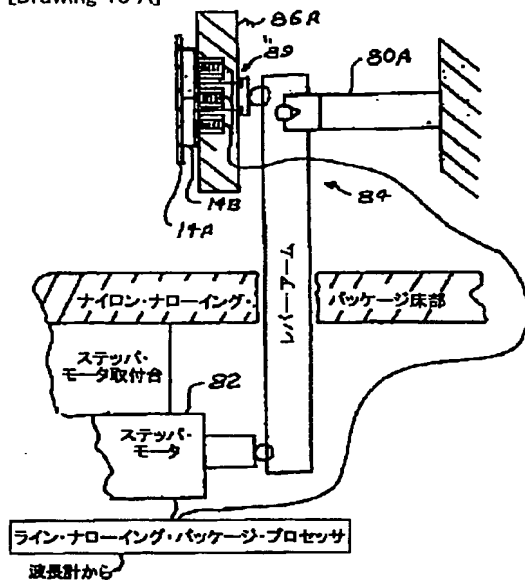
[Drawing 12]



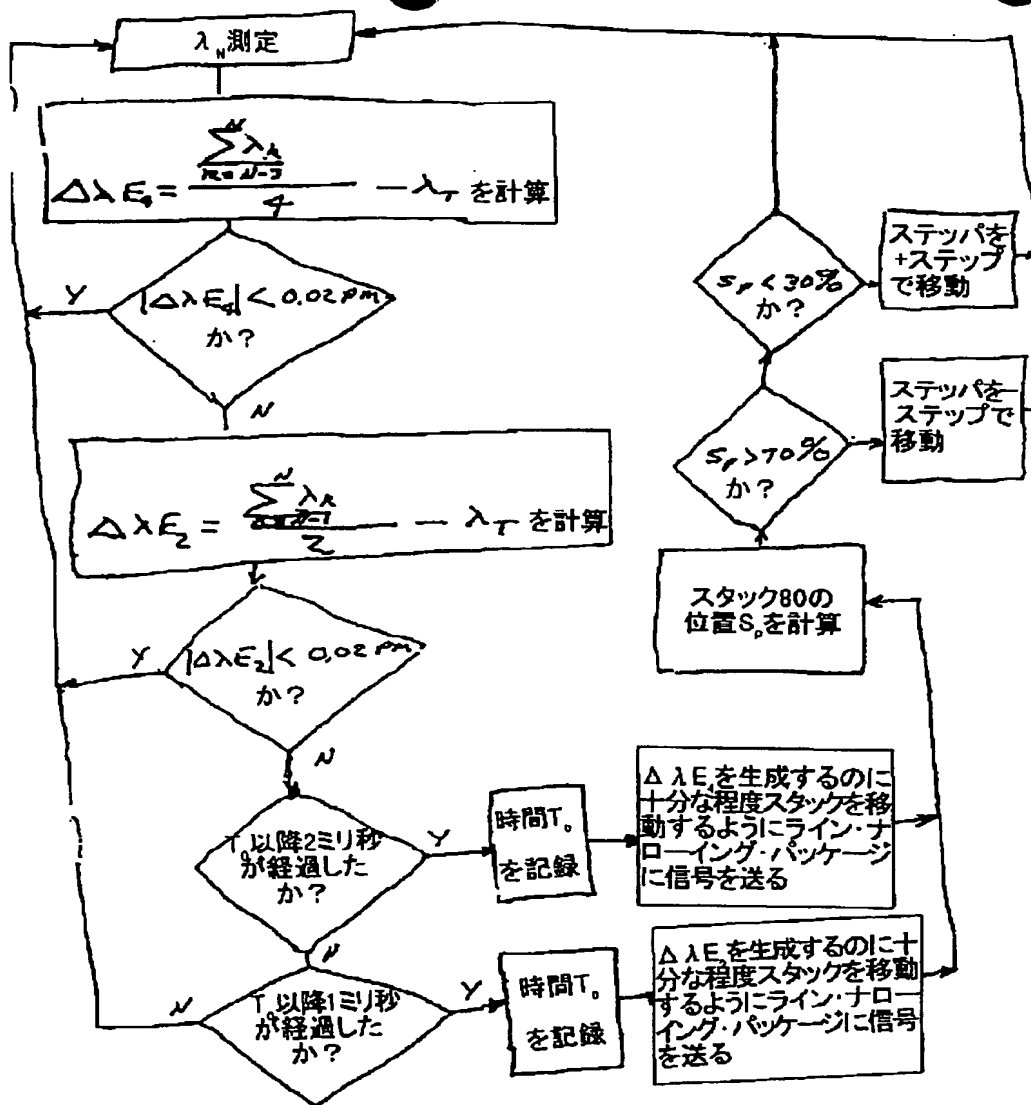
[Drawing 12 D]



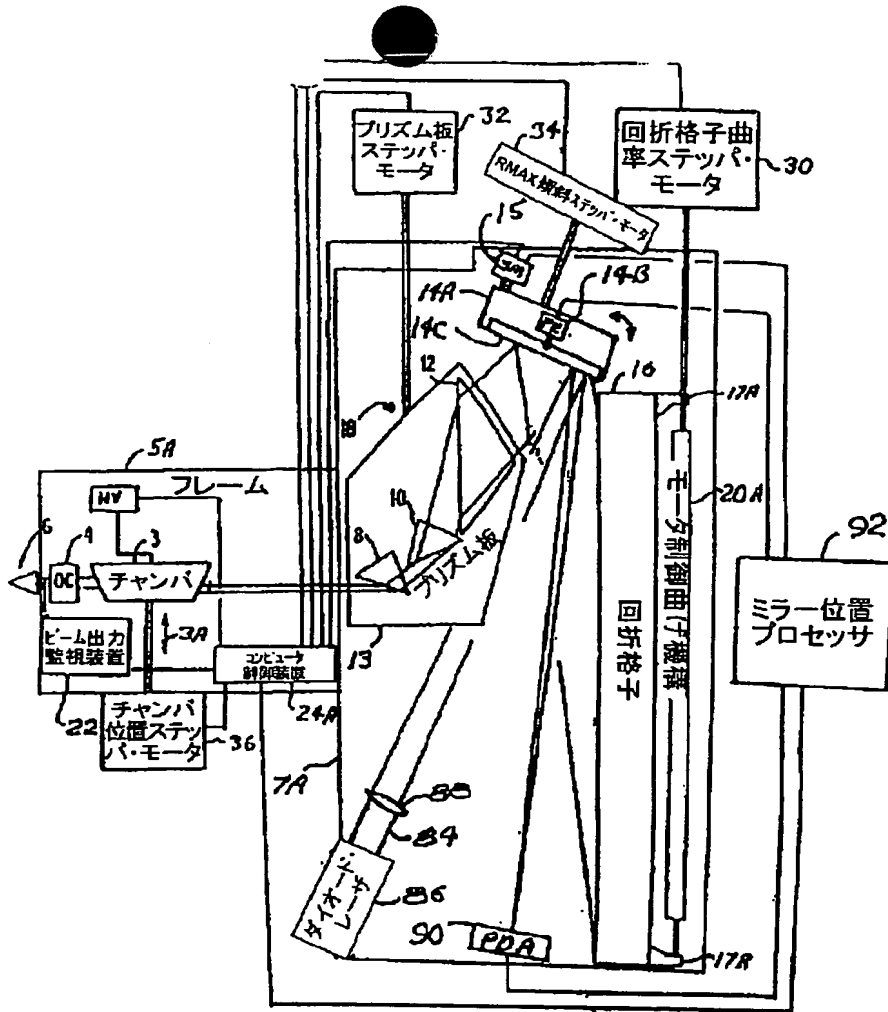
[Drawing 13 A]



[Drawing 12 C]



[Drawing 14]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-267673
(P2001-267673A)

(43) 公開日 平成13年9月28日 (2001.9.28)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 S 3/139

識別記号

F I

H 0 1 S 3/139

テーマコード (参考)

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2001-34157(P2001-34157)

(22) 出願日 平成13年2月9日 (2001.2.9)

(31) 優先権主張番号 09/501160

(32) 優先日 平成12年2月9日 (2000.2.9)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 09/597812

(32) 優先日 平成12年6月19日 (2000.6.19)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(31) 優先権主張番号 09/608543

(32) 優先日 平成12年6月30日 (2000.6.30)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 597014361

サイマー インコーポレイテッド

アメリカ合衆国 カリフォルニア州

92127-1815 サン ディエゴ テクノロ

ジー ドライブ 16275

(72) 発明者 アイゴー ヴィ フォーメンコフ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州

92129 サン ディエゴ ジャーナル ウ

エイ 14390

(74) 代理人 100059959

弁理士 中村 稔 (外9名)

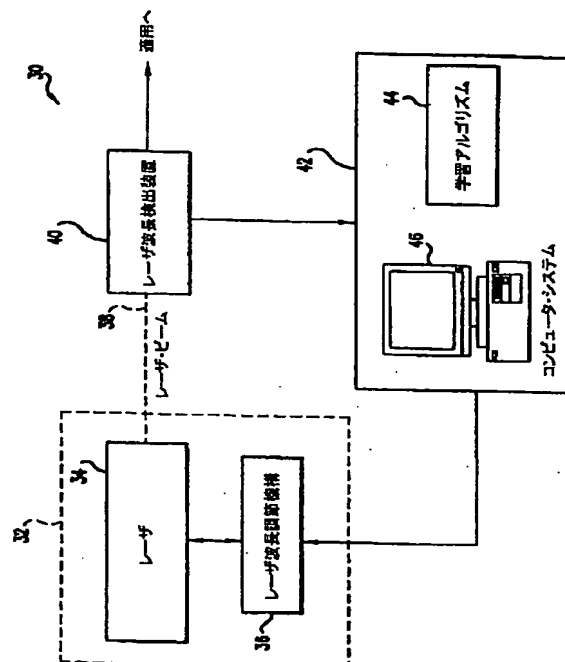
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザの帯域幅制御技術

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、レーザに関し、詳細には、出力ビームの帯域幅を制御する技術に関する。

【解決手段】 電気放電レーザの帯域幅を制御する技術が提供される。ライン・ナローイング装置は、少なくとも1つの圧電駆動装置と高速帯域幅検出手段、及び、約1.0ミリ秒未満の時間応答を持つ帯域幅制御を備えるように準備される。好ましい実施形態において、波長同調ミラーは、極めて狭い範囲内の回転角度により毎秒500ディグを超えるディグ速度でディグされ、公称波長のディグに一連のレーザパルスの目標とする有効帯域幅を生成させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 回折格子及び高速同調機構を含むライン・ナローイング・ユニットを持つ狭帯域電気放電レーザのパルス・レーザ・ビームの有効帯域幅をもたらし方法であって、

A) 個別のパルス・レーザ・パルスの帯域幅を測定するために前記レーザ・ビームを監視する段階と、

B) 一連のパルスに対して目標とする偏差にほぼ等しい目標波長からの平均スペクトル偏差を持つ、前記目標波長にほぼ集中された平均スペクトルを作り出すために、前記一連のパルスの幾つかのパルスの波長が前記目標波長よりもわずかに長く、前記一連のパルスの幾つかのパルスの前記波長が前記目標波長よりもわずかに短くなるように、前記一連のパルスの間、前記同調機構を周期的に調節する段階と、を含むことを特徴とする方法。

【請求項2】 前記ライン・ナローイング・ユニットは、圧電駆動装置ユニットを含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】 前記ライン・ナローイング・ユニットは、前記圧電駆動装置ユニットにより駆動される同調ミラーを含むことを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項4】 前記個別パルスの帯域幅は、分光計のスリット関数を測定する段階と、生のデータ・スペクトルを測定する段階と、前記レーザに対して、前方畳み込みスペクトルの幅 W_{fc} 及び前記生データ・スペクトルの幅 W_R を決める前方畳み込みスペクトルを作り出すために、前記生データ・スペクトルに前記スリット関数を畳み込む段階と、前記レーザに対して、真のスペクトルの幅 W_r の推定を $W_r = W_R - (W_{fc} - W_R)$

と等価な式で計算する段階と、により決められることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、1997年7月22日提出の、現在は米国特許第6,078,599号であるシリアル番号第08/898,630号と2000年2月9日提出のシリアル番号第09/501,160号との一部継続出願であった、2000年6月19日提出のシリアル番号第09/597,812号の一部継続出願である。本発明は、レーザに関し、詳細には、出力ビームの帯域幅を制御する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】(波長制御)レーザは、多くの応用分野において使用される。例えば、Krf及びArFエキシマ・レーザのようなレーザは、ステップ及びスキナ装置において使用され、半導体ウェーハ製造工程においてフォトリソを選択的に露光する。そのような製造工程においては、ステップ及びスキナにおける光学装置は、レーザの特定波長用に設計される。このレーザの波

長は、時間に亘ってふらつく可能性があるので、フィードバック回路網が一般に採用され、レーザの波長を検出し、必要に応じて波長を補正する。

【0003】レーザの波長を検出し、調節するために使用されるフィードバック回路網の1つのタイプにおいて、レーザから放出された光の一部分をエタロンが受ける。このエタロンは、レーザ光による破壊的及び建設的干涉のために、暗及び明レベルの同心帯域を持つ干涉縞を作り出す。この同心帯域は、中央の明るい部分を取り囲んでいる。この干涉縞の明るい中央部分の位置は、波長を5ピコメートル(pm)の範囲内のように比較的粗く測定するために使用される。光の帯域の直径は、レーザの波長を0.01から0.03pmの範囲内のように精密に測定するために使用される。光帯域の幅は、レーザ出力のスペクトル幅を測定するために使用される。この干涉縞は、通常フリンジ模様と称される。このフリンジ模様は、感度のよい光検出器アレーによって光学的に検出することができる。

【0004】レーザ波長の同調において、様々な方法がよく知られている。一般に、この同調は、ライン・ナローイング・パッケージ、又は、ライン・ナローイング・モジュールと称される装置において行われる。エキシマ・レーザの線を狭め、同調するために使用される一般的な技術は、放電空洞の背部に窓を設けることで、そこをレーザ・ビームの一部分がライン・ナローイング・パッケージ内に通過する。そこで、ビームのその一部分は、ビーム・エクスパンダにおいて広げられて回折格子に送られ、回折格子は、レーザの本来は広いスペクトルの、狭い選択された部分を放電チャンバ内に反射して戻し、そこで選択された部分は増幅される。レーザは、一般に、ビームが回折格子を照明する角度を変化させることによって同調される。このことは、回折格子の位置を調節するか、又は、ビーム経路内にミラー調節装置を設けるかによって行うことができる。この回折格子の位置、又は、ミラーの位置の調節は、以下にレーザ波長調節機構と称する機構により行うことができる。

【0005】従来技術において、一般的なフィードバック回路網は、公称波長を目標とする波長範囲内に維持するように構成される。通常の仕様は、この範囲を、「パルス・ウインドウ」と称される一連のパルスの平均波長に対して適用されるように例えば248、327、1pmのような目標とする波長の、 ± 0.05 pmなどの値に確立し得る。通常のパルス・ウインドウは、30パルスであろう。別の一般的な仕様は、(30パルスのような)一連のパルスに対して測定された波長の標準偏差である。この値は、シグマ(σ)と称され、標準偏差用の標準公式を用いて計算される。また、仕様は、時々測定された標準偏差の単に3倍である 3σ で記述される。一般的な 3σ 仕様は、0.15pmであり得る。

【0006】波長が248ナノメートル(nm)及び1

93 nmの深い紫外光線の使用に受け入れられる光学レンズ材料という制限は、KrF及びArFリソグラフィ用の投影レンズが主として熔融石英で製造されてきたことを意味してきた。熔融石英は、極めて良好なレンズ材料（高透明度、低熱膨張、比較的磨きやすい）ではあるが、投影レンズにおいて異なる屈折率を持つ2番目の材料種類が利用できないということは、その結果として色収差をもたらす。いかなる光学材料の屈折率も波長と共に変わるので、色収差が現われ、従って、レンズの画像化特性もまた、波長に伴って変わる。

【0007】未補正のレンズに対する色収差の有害な影響は、極めて狭い波長範囲を用いた光源を使用することによってのみ緩和することができる。スペクトル的にライン・ナローイングされたエキシマ・レーザは、深い紫外線リソグラフィに対し、その目的に役立った。今日のレーザは、ピコメートル以下の範囲の帯域幅を持ち、屈折投影レンズに対して、ほぼ単一色の照明をもたらす。エキシマ・レーザの帯域幅が小さいとはいふものの、それでもやはり、レンズの色補正がないということは、帯域幅が無視できないことを意味する。

【0008】レーザビームの帯域幅は、上記で参照したライン・ナローイング・パッケージを使用することにより、通常、小さくされる。過去においてレーザ仕様は、帯域幅が0.5 pmのような特定値よりも小さいことを要求した。該仕様はまた、全帯域幅の95%を指示している。通常の95%全帯域幅仕様は、1.2 ピー・ピー・エム (ppm) より小さいであろう。しかしながら、最近になって、集積回路製造業者は、その帯域幅用に光学システムが設計された帯域幅よりもかなり狭い帯域幅によって集積回路が悪影響を受け得ることに気が付いている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】従って、レーザの帯域幅を、単に特定幅より小さいということではなく、むしろ特定範囲内に制御する技術が必要である。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、電気放電レーザの帯域幅制御技術を提供する。ライン・ナローイング装置は、少なくとも1つの圧電駆動装置と高速帯域幅検出手段、及び、約2.0ミリ秒未満の時間応答を持つ帯域幅制御を備えるように準備される。好ましい実施形態において、波長同調ミラーは、極めて狭い範囲内の回転角度により毎秒500ディザを超えるディザ速度でディザされ、公称波長のディザに一連のレーザ・パルスの目標とする有効帯域幅を生成させる。

【0011】

【発明の実施の形態】（シミュレーション）波長及び帯域幅変化の影響のシミュレーションが、本出願者によって実施された。色補正無しレンズに対する露光波長変化の主な影響は、焦点平面の位置の変化である。かなり広

い範囲の波長に亘り、この焦点の変化は、公称波長（即ち、照明スペクトルの中心波長）における変化と本質的に線型である。レンズの波長応答は、レーザの中心波長を手動で変化させ、また、ステップの画像センサを使用し、それがもたらす焦点の移動を監視することによって、実験的に測定することができる。図1は、そのような測定の例を示す。

【0012】波長変化に伴う焦点の変化が与えられた場合、広帯域照明スペクトルを使用することは、そのスペクトルにおけるそれぞれの波長が、様々な最善の焦点で空中画像を作りだすことを意味する。総合的な空中画像は、それぞれの焦点位置での空中画像の合計となり、この照明スペクトルにおけるそれぞれの波長の相対的強度によって重み付けされる。この技術は、多重焦点平面露光に基づいている。コンピュータ・プログラムのPROLITH/2（テキサス州オースティン所在のフィニレ（FINLE）・テクノロジーズ・インコーポレーテッドから入手可能）の最新版は、この種の効果を組み込んでいる。

【0013】様々な市販レーザに対して測定された、実際のレーザ・スペクトルは、本作業において使用され、レーザ・スペクトルの特性が求められた。図2は、異なるKrFレーザ・スペクトルの例を示す。色収差が存在する場合のリソグラフィ処理に関するレーザ帯域幅の影響を理解するため、我々は180 nmの単独線の空中画像調査から開始した。図3は、変化する帯域幅が空中画像（この画像寸法は、0.3画像強度値に該当すると通常仮定される）に如何に影響を及ぼすかを示す。これらのシミュレーションに対して、以下の入力パラメータが使用された。即ち、 $NA=0.6$ 、 $\sigma=0.75$ 、 $\lambda_0=248.3271\text{ nm}$ である。FWHMで帯域幅0.5 pm、1.2 pm、2.1 pmを持つレーザ・スペクトル及び単色光源が、このシミュレーション調査において使用され、また、色収差焦点応答0.225 ミクロン (μm)/pmが仮定された。図3に見ることができるように、帯域幅の変化は、画像強度の顕著な変化を引き起こす。

【0014】様々な規模による単独線の臨界寸法 (CD) 変化に関するレーザ帯域幅の影響は、空中画像閾値モデルを用いて評価された。この調査では、以下の入力パラメータ設定が使用された。即ち、 $\sigma=0.75$ 、 $\lambda_0=248.3271\text{ nm}$ 、30%での空中画像閾値、 $NA=0.6$ 、0.7、及び、0.8である。シミュレーションは、240 nmから140 nmの範囲の単独線に対して実施された。色収差応答は、0.225 $\mu\text{m}/\text{pm}$ が仮定された。図4A、4B、及び、4Cに示されるように、帯域幅（増大又は減少のいずれか）の変化は、特に高い開口数において、集積回路線路の臨界寸法に相当な変化をもたらすこと可能である。

【0015】（ F_1 濃度に対する帯域幅の依存性）エキ

シマ・レーザのレーザ効率及び帯域幅の両方は、フッ素濃度によって極めて変化し得ることが知られている。一般的なエキシマ・レーザのフッ素濃度は、リソグラフィ・システムの一般的な使用率のもとで運転している場合、毎時約0.1から1パーセントだけ消費されるので、この変化は重大であり得る。レーザ制御の一般的な方法は、フッ素濃度が約10%だけ減少するまでの約2から4時間の間、パルス・エネルギー・フィードバック・システムの影響のもとで、放電電圧を徐々に上昇させることにより、フッ素が消費する一方で一定のパルス・エネルギー出力を維持するものである。この時点で、フッ素が注入され、パルス・エネルギー・フィードバック制御システムは、直ちに放電電圧を減じる。この操作方法の結果は、帯域幅の顕著な振れであり、それは、上述のように、帯域幅に影響し、そして帯域幅の変化は、その結果、図1に示す仕方では集積回路パターンに影響する。帯域幅の時間的変動を最小限化する技術の1つは、フッ素濃度をほぼ一定に維持することである。このことは、消耗に応じてフッ素を極めて低い速度で絶えず注入するか、又は、事実上連続的に注入近似するため、極めて頻繁な間隔で「微量注入」を行うことによって行うことができる。

【0016】(波長補正機器)図5は、レーザ・システム32のための波長シフト補正システム30の好ましい実施形態を示す。レーザ・システム32は、同調可能レーザ34を含む。1つの実施形態において、レーザ34は、紫外線(UV)エキシマ・レーザであり、レーザ・エネルギーのパルスを発する。レーザ・システム32はまた、レーザ波長調節機構36を含み、レーザ34の波長を調節する。1つの実施形態において、レーザ波長調節機構36は、レーザ34を、限定されてはいるものの、約10から20ミリ秒の間の比較的大きな同調可能範囲に亘って同調することができる。より小さな調節は、より高速に行うことができる。レーザ波長調節機構36は、どのような知られた波長調節機構であってもよい。好ましい実施形態において、レーザ波長調節機構36は、同調されているレーザ・ビームがライン・ナローイング・モジュール内に設けられた回折格子を照明する角度を制御するステップ・モータ又は圧電トランスデューサを含む。この回折格子は、複製のために狭帯域波長を反射してレーザ励起チャンバ内に戻す。これらの波長調節機構は、従来技術で公知である。

【0017】(レーザ波長検出)レーザ34が、ウェーハ製造用ステップにおけるように、ある応用例で運転されている時、その放射されたレーザ・ビーム38の一部は、レーザ波長検出装置40に向けられる。レーザ波長検出装置40は、従来の装置でよく、レーザ・ビーム38の波長を検出する。適切なレーザ及びレーザ光線の波長を検出し同調する光学部材に関する更なる詳細は、本譲受人に対して譲渡され、本明細書にその全体が

参照されている以下の特許において見出すことができる。即ち、スチュアート・アンダーソンらに付与された「光ビーム波長を調整するシステム及び方法」という名称の米国特許第5,025,445号、リチャード・サンドストロームらに付与された「波長計のための温度補償法及び装置とそれにより制御される同調可能レーザ」という名称の米国特許第5,420,877号、リチャード・サンドストロームに付与された「スペクトル・ナローイング技術」という名称の米国特許第5,095,492号、及び、イゴール・ホメンコフに付与された「レーザ波長制御機構を較正する方法及び装置」という名称の米国特許第5,450,207号である。精密波長検出をもたらすために使用される正確な技術は、本発明に関係しない。

【0018】レーザ波長検出装置40は、レーザ・ビーム38のある種の特性を、以下に詳述するチャープ取得システム42のような追加の処理回路で使用するために、デジタル信号に正確に変換する。この追加処理回路は、デジタル信号を使用することができ、同調可能なレーザ34の波長を制御し、レーザ・ビーム38の様々な他の特性を判断する。レーザ34は、機械的、光学的、又は、化学的(例えば、レーザ34のガスの混合を制御することによって)に同調することができるが、レーザを同調するために使用される正確な方法は、本発明に関係しない。

【0019】1つの実施形態において、レーザ34は、毎秒1000パルス以上のパルスを放出する。理想的には、レーザ波長検出装置40は、レーザ34からのパルス・バーストの各パルス波長を検出する。代わりに、レーザ波長検出装置40は、レーザ34からのパルス・バーストから抽出されたパルスの部分集合の波長を検出してもよい。レーザ・ビーム38のパルスの波長を、例えば1つの実施形態における0.01から0.03pmの精度で測定する目的で、業界で使用される、又は、あらゆる出版物において記述される、いかなる技術も使用されてよい。様々な波長検出技術及び装置の例は、本明細書に参照されている前述の特許において説明されている。

【0020】(圧電トランスデューサを用いる高速波長補正)図6から図11、図12Aから図12D、図13A、及び、図13Bは、同調ミラーを回転させるために圧電トランスデューサの極端に速い応答を利用する波長高速補正技術を説明している。

【0021】(高速波長計)パルス間隔の時間(2000ヘルツレーザにとっては0.5ミリ秒)よりも短い時間間隔であるような、波長の高速制御をもたらすためには、パルス間隔時間より高速な波長測定が可能である必要がある。一般的な従来技術リソグラフィ・レーザは、波長を測定するのに大体2ミリ秒を必要とする。波長を測定する波長計及び技術の説明は、米国特許第5,99

1、324号において準備され、本明細書にその全体が参照されている。以下は類似の波長計の説明であり、その波長計は、必要なデータを記録するために変更が施されており、必要な計算を実行して420マイクロ秒未満の速度で波長を決める。

【0022】図6に示すように、レーザ・チャンパからの出力ビームは、ビーム・エネルギーの約95.5%を通過させて約4.5%を波長計120内に反射する、部分反射ミラー170と交差する。反射されたビームの約4%は、ミラー171によってエネルギー検出装置172に反射される。エネルギー検出装置は、超高速フォト・セル92を含み、フォト・セルは、繰返し率が毎秒4,000パルス以上で発生している個々のパルスのエネルギーを測定することができる。一般的なパルス・エネルギーは、約10ミリジュールであり、検出装置69の出力は、コンピュータ制御装置102(図12)に供給され、コンピュータ制御装置は、特別なアルゴリズム(本明細書に参照されている米国特許第6,005,879号に説明される)を使用してレーザ充電電圧を制御し、個々のパルスのエネルギー変動及びパルス・バーストの全体エネルギーを制限するため、保存されたパルス・エネルギー・データに基づいて将来パルスのパルス・エネルギーを正確に制御する。上記の全ては、以下に説明される。

【0023】ミラー171を通過するビームの約4%は、ミラー173によりスリット177を通過してミラー174に反射され、更にミラー175に、戻ってミラー174に、そして、エシエル回折格子176上に反射される。ビームは、焦点距離458.4ミリメートル(mm)を持つレンズ178によって平行にされる。回折格子176から反射された光は、レンズ178を通過して戻り、再びミラー174、175、及び、再度174で反射され、次いでミラー179で反射され、そして線型フォト・ダイオード・アレー180の左側上に焦点合わせされる。このフォト・ダイオード・アレー上のビーム位置は、出力ビームの相対的な公称波長の荒い尺度である。ミラー173を通過するビームの約90%は、ミラー182から反射され、レンズ183を通りエタロン184内に向かう。エタロン184を出るビームは、エタロンの458.4mm焦点長レンズによって焦点合わせされ、図6に示すように2つのミラーから反射された後、線型フォト・ダイオード・アレーの中央及び右側上に干渉フリンジを作りだす。

【0024】(線型フォト・ダイオード・アレー) 線型フォト・ダイオード・アレー180は、1024の個別フォト・ダイオード集積回路、及び、付属の抽出及び保持読み出し回路を含む集積回路チップである。このフォト・ダイオードは、全長25.6mm(約1インチ)に対して25ミクロンのピッチを持つ。それぞれのフォト・ダイオードは、500ミクロン長である。このようなフォト・ダイオード・アレーは、幾つかの販売元から入手可

能である。好ましい供給業者はハママツである。1つの好ましい実施形態において、モデルS3903-1024が使用され、それは、完全な1024ピクセル走査を2000ヘルツを超える速度で読み出すことができるFIFOベースにおいて、 2.5×10^6 ピクセル/秒の速度で読むことができる。より高速度のアレーは、モデルRL2048PAQであり、カリフォルニア州サニーベール所在のイー・ジー・アンド・ジー・レチコン(EG & G Reticon)により供給される。このPDAは、16.875キロヘルツのフレーム速度において2,048ピクセルで読まれることができる。

【0025】(粗波長の計算) 波長計モジュール120の粗波長光学部品は、約0.25mm×3mmの矩形画像をフォト・ダイオード・アレー180の左側上に作りだす。10又は11個の照光したフォト・ダイオードは、受光した照明の強度に比例する信号を発生させることになり、その信号は、波長計制御装置197のプロセッサによって読まれ、そしてデジタル化される。この情報と補間アルゴリズムとを使用して、制御装置197は、画像の中心位置を計算する。この位置(ピクセルで計られる)は、2つの校正係数を使用し、また、位置と波長との間に線型関係を仮定して、粗波長値に変換される。これらの校正係数は、以下に説明される原子波長照合線源を基準として決められる。例えば、画像位置と波長との関係は、Pを粗い画像中心位置として、以下のアルゴリズムになるであろう。

$$\lambda = (2.3 \text{ pm/ピクセル}) P + 248,350 \text{ pm}$$

【0026】(精密波長の高速計算) 分光計は、波長と帯域幅とをほぼ実時間で測定しなければならない。レーザの繰返し率が2キロヘルツ以上なので、経済的かつコンパクトな処理用電子装置を用いて目標とする性能を達成するため、正確ではあるが、しかし計算集中型ではないアルゴリズムを使用することが必要である。本出願者は、浮動小数点計算に対して整数値を使用し、また、演算は全て線形である(又は、平方根、正弦、対数などを使用する)ことが好ましい。

【0027】この好ましい実施形態において使用される好ましいアルゴリズムの具体的な詳細は、ここで以下に説明される。図6Bは、示されるように5個のピークを持つ曲線であり、それは線型フォト・ダイオード・アレー180で測定された場合の一般のエタロン干渉信号を表す。中心ピークは、他よりも高さが低く描かれる。光の様々な波長がエタロンに入ると、中心ピークは、上昇及び降下することになり、時折ゼロになる。この態様は、中心ピークを波長測定に対して非適切にする。他のピークは、波長の変化に応じ、中心ピークに向かって、又は、それから離れて移動することになり、これらピーク位置は、波長を決め、一方それらの幅はレーザの帯域幅の長さになる。「データ・ウインドウ」と表示された領域が図6Bに示される。このデータ・ウインドウは、中

心ピークに最も近いフリンジが解析用として標準的に使用されるように設けられる。しかしながら、波長が変化して、このフリンジを中心ピークに近づき過ぎるように移動させる場合（それは歪みを引き起こし、結果として誤差をもたらすことになる）、2番目に近いピークがデータ・ウインドウの内側になり、ソフトウェアは、そのピークに飛びつくことになる。逆に、波長がシフトして、現在のピークをデータ・ウインドウの外へ、中心ピークから離して移動させる場合、ソフトウェアは、データ・ウインドウ内の内側フリンジに飛びつくことになる。

【0028】関連する段階は、以下の通りである。

1. レーザ・パルスの後、フォト・ダイオード・アレーの出力は、電子的に読み出され、デジタル化される。データ点は、フォト・ダイオード・アレー部材の間隔によって物理的に決められる間隔、この場合25ミクロンのピッチ、で分離される。

2. このデジタル・データは、データ・ウインドウのピーク強度値を見出すために調べられる。その前のピーク場所は、開始点として使用される。開始点の左右で小領域が調べられる。この調査領域は、ピークが発見されるまで、小間隔で左右に拡張される。ピークがデータ・ウインドウ外である場合、他のピークが発見されるまで、調査は自動的に継続することになる。

3. ピーク強度に基づいて、図6Aに示されるように、50%レベルが計算される。0%レベルは、パルス間隔において周期的に測定される。計算された50%レベルに基づいて、各点は、ピークの左右で、50%レベルの境界を定めるデータ点が見出されるまで調べられる。図6AにおいてA及びBで表示される半値位置を見出すために、50%レベルの境界を定める1対の点の間で線形補間が計算される。これらの位置は、整数データ・フォーマットを使用して、1/16のようなピクセル *

$$\lambda = 248.327.1 \text{ pm} - 9.25 \times 10^{-3} \text{ pm/平方ピクセル} [(405)^2 - (300)^2] + N \cdot \text{FSR}$$

$$= 248.333.95 + N \cdot \text{FSR}$$

自由スペクトル範囲がFSR=20 pmの場合、λに対する可能な値は、

248.293.95 pm	N=-2
248.313.95 pm	N=-1
248.333.95 pm	N=0
248.353.95 pm	N=+1
248.373.95 pm	N=+2

を含む。

【0031】例えば、粗波長がλ_c=248.350であると測定される場合、プロセッサは、λ_cに最も近似する解として、λ=248.353.95 pm (N=+1)の値を選択することになる。図16Bに示されるような内側及び外側フリンジ直径D1及びD2の各々は、波長λ₁及びλ₂に各々変換される。レーザ波長用に報告

*の分数まで計算される。

4. 段階2及び3は、2つのデータ・ウインドウに対して反復され、合計で4つの補間された50%位置を与える。図6Bに示されるように、2つの直径が計算される。D1は内側フリンジ直径であり、一方、D2は、外側フリンジ直径である。

5. 波長に対する近似値は、前節「粗波長の計算」で説明されたように、粗波長回路によって決められる。

【0029】（精密波長の計算）内側及び外側フリンジ直径D1及びD2（単位はピクセル）は、それぞれ以下の式で波長に変換される。

$$\lambda = \lambda_c + C d (D^2 - D_c^2) + N \cdot \text{FSR}$$

ここで、λは直径Dに対応する波長、λ_cは、校正波長、D_cは、波長λ_cに対応する直径、Cdは、光学的設計に依存する校正定数、FSRは、エタロンの自由スペクトル範囲、Nは、整数0、±1、±2、±3、・・・である。

【0030】λ_c、K₁、FSR、及び、D_cの値は、校正の時点で判断され、保存される。Nに対する値は、λ_cを粗波長測定値として、

$$|\lambda - \lambda_c| \leq 1/2 \text{FSR}$$

であるように選択される。例えば、好ましい実施形態において、基準波長λ_c=248.327.1 pm（中空鉄陽極ランプの吸収線に対応する）が選択される。この波長のもとでは、フリンジ直径D_cは300ピクセルと見出されるだろう。Cdは定数であり、直接測定することも、光学的設計から計算することも、いずれも可能である。好ましい実施形態において、Cd=-9.25×10⁻³ pm/平方ピクセルである。従って、例えば、様々な波長のもとで作動しているレーザを用い、フリンジ直径が405ピクセルと測定され得る。式(1)による計算で可能な波長は、

される最終値は、これら2つの計算値の平均である。即ち、

$$\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2) / 2$$

である。

【0032】（帯域幅の計算）レーザの帯域幅は、(λ₂-λ₁)/2として計算される。一定の補正係数が、真のレーザ帯域幅に加算されているエタロン・ピークの固有幅を考慮するために適用される。数学的には、デコンボリューション・アルゴリズムが、エタロン固有幅を測定幅から除去するための形式的方法であるが、しかし、これは余りにも計算集約的であり過ぎるであろうから、一定補正Δλ_εが減算され、それは十分な正確さをもたらす。従って、帯域幅は、

$$\Delta \lambda = [(D_2 - D_1) / 2] - \Delta \lambda_{\epsilon}$$

である。 $\Delta\lambda_e$ は、エタロン仕様及び真のレーザ帯域幅の両方に依存する。それは、一般に、ここで説明する適用例に対しては、0.1から1 pmの範囲にある。

【0033】(波長の較正)ミラー182を通過するビームのうちの約10%は、ミラー186から光ファイバ入力188内に反射され、光は光ファイバを通過して進み、原子波長基準190に行く。この光ファイバは、開口部191で原子比較ユニット190に接続し、また、光ファイバからの光はミラー69から反射され、レンズ193によってネオン鉄蒸気セル194の中心の焦点に焦点合わせされ、レンズ195によってフォトダイオード196上に再び焦点合わせされる。原子波長基準ユニット190は、波長計120を較正するために使用される。これは、フォトダイオード196の出力を監視しながら、検出装置69によって示される出力エネルギーを一定に保つ一方で、レーザ波長を調節することによって行われる。フォトダイオード69が公称出力を示しているのに、フォトダイオード196が相当な出力減少を示す場合、出力の波長は、248.3271 nmの鉄蒸気吸収線に一致する必要がある。フォトダイオード196の出力が最小である時のエタロンフリンジに対応する位置データ及び線型フォトダイオード180上に回折格子176によって作りだされた画像に対応する位置データは、波長計制御装置197によって検出及び記録がなされ、このデータは、波長計制御装置197によって波長計120を較正するために使用される。

【0034】(波長測定用マイクロプロセッサ)2000ヘルツレーザのパルス間隔はわずか500マイクロ秒しかないの、その直前に先行したパルスの波長誤差に対して、これから起こるパルスの補正を行う機会を得るために、波長は、500マイクロ秒をかなり下回る時間で計算されなければならない。上述のように、フォトダイオード・アレー180は、 2×10^6 ピクセル/秒の速度で読むことができる。データは、読出しの間にデータ処理が開始できるようにバッファ・メモリに読み込まれる。上述の計算を実行するために必要とされるデータ処理は、好ましくはモトローラ・コーポレーションから供給されるモデル68332 25メガヘルツマイクロプロセッサを使用して行われる。本出願者は、この余り高価ではないプロセッサは、性能劣化を伴うことなく43メガヘルツで走らせるためにオーバークロックさせることができると判断した。1つの好ましい構成において、全てのデータは、PDA180から読み出され、上記の波長計算が420マイクロ秒の間になされ、次のバーストの前にミラー14を移動するのに80マイクロ秒を与える。

【0035】(帯域幅の補正)図6に示される分光計装置によって行われる帯域幅測定は、真の波長よりも大きい帯域幅をもたらすが、それは、すなわち、全ての分光計が、分光計が単色ビームを監視する場合に表示するで

あろうスペクトルである「スリット函数」と呼ばれる、それ自身のスペクトルを持つからである。本出願者は、図6の装置用に、測定されたスペクトルに対して控えめに補正する技術を開発したので、この技術を以下に説明する。図15Aは、一般的な分光計スリット函数及び仮想的な真のスペクトルを定性的に示す。測定されたスペクトルは、スリット函数とレーザ・ビームの真のスペクトルとの畳み込みになるであろう。従って、ガス放電レーザからの生のスペクトル・データから真のスペクトルを決定するためには、スリット函数が除去されなければならない。これを数学的に行おうとすれば、極めて困難であるという結果になる。

【0036】生のスペクトル・データを補正する本出願者の地味な技術は、非常に単純で、また、従来技術に比べてより控えめである。この技術は、以下の段階に関連する。

- 1) 分光計装置のスリット函数を、ほぼ単色のレーザ・ビームを使用して測定する。
- 2) 実際のガス放電レーザのスペクトルを同じ分光計を使用して測定する。
- 3) 分光計によって測定された生のガス放電レーザ・スペクトル・データの幅 W_s を計算する。
- 4) スリット函数と生のガス放電レーザ・データとを畳み込む。
- 5) 得られた畳み込みスペクトルの前方畳み込み幅 W_{fc} を計算する。
- 6) 次式を用い、真のガス放電レーザ・スペクトルの近似幅 W_r を計算する。

$$W_r = W_s - (W_{fc} - W_s)$$

これらの W は、FWHM又は95%全帯域幅仕様など、幾つかのスペクトル幅のどれであってもよい。

【0037】(高速ミラー調節)図12、12A、及び、12Bは、ミラー14の高速調節を許容する機構を示す。この実施形態は、上述のステッパ・モータ駆動システムに比較して、大変な速度向上であるものの、パルスからパルスへの調節を行うのに十分なほど極めて高速というわけではない。上記の通り、ミラー位置決めに関する以前の方法は、ミラー14を移動させるのに約7ミリ秒を必要とし、パルスからパルスの波長補正を2000ヘルツで行うことは問題外であった。その以前の技術においては、レバー・アームが枢軸周囲に枢転し、ステッパ位置の移動と比較して、1対26.5のミラー移動の引き下げをもたらした。従来技術でのステッパは、全体で1/2インチ(12.7mm)の移動、及び、6000ステップを持ち、その結果、それぞれのステップは、距離にして約2ミクロンである。1対26.5の引き下げを行うと、1ステップは、約75nmの移動であり、それは一般に、レーザ波長の波長を約0.1 pm変化させる。図12Aに示される高速で作用する技術においては、圧電スタック80がレバー・アームの枢転位置

に追加された。好ましい圧電スタックは、ドイツのバルトブロン所在のフィジク・インストルメンテ有限責任会社により供給されるモデルP-840.10である。

【0038】このスタックは、20ボルトの駆動電圧変化で約3.0ミクロンの線形調節をもたらすであろう。この範囲は、ステッパ・モータの約±20ステップに匹敵する。このスタックは、制御信号に対し1マイクロ秒未満内で応答し、システムは、2000ヘルツの周波数で更新された信号に容易に回答することができる。好ましい実施形態において、2000ヘルツのパルス繰返し数のパルスの各々に対する制御は、1つ前のパルスに基づくのではなく、1つ前のパルスより以前のパルスに基づき、波長計算に対して十分な時間を与える。しかしながら、この実施形態は、7ミリ秒の待ち時間を持って、従来技術の設計に比べ7倍の改善をもたらす。従って、更に高速度のフィードバック制御をもたらすことができる。1つの好ましいフィードバック制御アルゴリズムは、図12Cに説明されている。このアルゴリズムにおいて、波長は、それぞれのパルスに対して測定され、最後4つ及び最後2つのパルスの平均波長が計算される。そのいずれの平均も、目標波長からのずれが0.02 pm未満である場合、調節は行われない。両方が目標から0.02 pmを超えてずれる場合、圧電スタック80によってミラー組立体に対して調節がなされ、波長補正が施される。2つの平均のどちらが使用されるかは、最後に調節されてからどれだけ多くの時間が経過したかによって判断される。圧電スタックは、そのスタックがその範囲の30及び70パーセント（又は、より利用可能な範囲を準備するために、30及び70パーセントの範囲の代わりに45及び55パーセントを使用することもできる）に接近すると、ステッパ・モータがステップすることによって、その制御範囲内に維持される。ステッパ・モータは、1ステップ完了に約7ミリ秒を必要とするので、アルゴリズムは、ステッパ・モータのステップの間、幾つかの圧電調節をしてもよい。

【0039】（パルスからパルスのフィードバック制御）図13A及び13Bは、80マイクロ秒よりも更に高速のミラー調節を可能にするミラー制御装置を示し、その結果、パルスからパルスへの補正がパルス繰返し数2000ヘルツのもとで実現可能である。この場合、圧電スタック80は、金属サポート80Aによって置換され、また、代わりに、より重量のあるミラー取付台86Aに対して移動する締め付けリブ14Bを持つ軽量ミラー14Aに対して圧電調節がもたらされる。ミラー14Aは、スタック88A、88B、及び、88Cの端部の球状接点に対して、調節可能な張力部材89によりしっかりと保持される。

【0040】この実施形態において、これらの圧電スタックは、ミラー取付台86Aに対するミラー14Aの位置の非常に精密な調節を準備する。上記の例のように、

大きな調節は、ステッパ・モータによってもたらされるので、圧電部品88A、88B、及び、88Cの全体の調節範囲は、約1.5ミクロンのように極めて小さくてよい。3つの圧電部品を持つこの軽量ミラーの約0.1ミクロンのような極めて小さな距離に亘る調節は、約10マイクロ秒の範囲で、極めて高速で実行可能である。ミラー位置の調節は、駆動装置88Aを一方向に移動させ、駆動装置88B及び88Cを逆方向に移動させるか、又は、駆動装置88Aのみを移動させることで調節できる。従来例のように、図12Dに概要が説明されている好ましい制御アルゴリズムは、圧電位置が制御範囲の最低約30パーセント又は最高70パーセントに達する場合、ステッパ・モータのステップを必要とする。このことは、約0.8 pmから約1.6 pm（1つの圧電駆動装置が使用されているのか、それとも3つのかに依存する）に匹敵する160 nmのステッパ・モータの移動なしの制御範囲をもたらす。従って、超高速圧電制御は、図15Aに示すように、一般に±0.10 pm内にある実質的に全てのチャープ変動を制御するのに十分な範囲を持つ。より大きな波長変化は、ステッパ・モータによってもたらされる。

【0041】図12Dに概略説明されたアルゴリズムは、レーザ波長のパルスからパルスへの制御を準備し、図13A、13B、及び、13Cに示される超高速ミラー設計を使用した次パルス補正ができるようにする。図12Dに説明されるように、このアルゴリズムは、パルスNの完了を待ち受け、それをパルスN-1として再定義する。アルゴリズムは、パルスの波長を測定し、それを目標パルスと比較し、そしてスタック88A、88B、及び、88Cを、又は、スタック88Aを移動させ、目標とする波長補正をもたらす。この全ては、パルスNに先行して行われ、その結果、パルスNの時点では、ミラーは移動され、静止状態である。スタックのどれかがその30%から70%の範囲を外れる場合、ステッパ・モータがステップを行う。アルゴリズムはその後、範囲が外れたスタックの、30%から70%範囲内への移動を引き起こすことになる。スタックの位置は、それらの制御電圧に基づく。アルゴリズムは、 $\Delta\lambda/E$ の絶対値が波長変動に対する1つの仕様値の20%である0.01 pmのような特定の小さな値未満の場合、圧電調節が行われないように変更することもできる。

【0042】（予備同調及び積極同調）上記の実施形態は、チャープ補正以外の目的で 사용할ことができる。ある場合には、集積回路リソグラフィ機械のオペレータは、予め決めるやり方で波長の変更を希望するかも知れない。換言すれば、目標波長 λ_1 は一定波長ではなく、所定のパターンに従うか、又は、早期の歴史的波長データ又は他のパラメータを使用し、学習アルゴリズムを連続して又は周期的に更新する結果としてか、そのいずれかにより、必要な頻度で変更することができるであ

う。

【0043】（ミラー位置の測定）ある場合において、特定のミラー位置を指定することによって波長を制御することが必要であり得る。このことは、図14及び図14Aに示される実施形態を使用して行うことができる。この実施形態において、ダイオード・レーザ86は、図14Bに示されるように、ミラー14Cから反射されるビームを供給し、その反射ビームは、フォトダイオード・アレー90に焦点合わせられ、ミラー14Cの枢軸位置を決める。この装置は、実際の波長測定のためにレーザを動作させることなく、ミラーの正確な位置決めを可能にする。これは、ミラーの正確な位置決めが必要な場合、重要となり得るであろう。図14Aは、ピボット測定の精度を向上させるため、ミラー14CとPDAとの間の光学的距離を増大させる技術を示す。

【0044】（圧電駆動装置を用いる詳細設計）図7は、本発明の好ましい実施形態の詳細特徴を示す図である。この設計は、図12A及び図12Bに示されるものと類似である。ミラー14の位置の大きな変化は、26.5対1のレバー・アーム84を介してステッパ・モータによって作り出される。この場合、圧電駆動装置80の端部においてダイヤモンド・パッド81が準備され、レバー・アーム84の支点の球状位置決めボールに接触する。レバー・アーム84の頂上とミラー取付台86との間の接触は、レバー・アーム上のダウ・ピンと、85において示されるようなミラー取付台上に装着された4つの球状ボール・ベアリング（その2つだけが示されている）を使用してもたらされる。圧電駆動装置80は、圧電マウント80Aを用いてLNPフレーム上に装着され、また、ステッパ・モータは、そのフレームにステッパ・モータ取付台82Aを用いて装着される。ミラー14は、ミラー取付台86内に、その1つのみが図7に示されている3つのアルミニウム球体を使用する3点マウントを使用して装着される。3つのスプリング14Aは、ミラーを球体に対して保持する圧縮力を加える。図8は、図7に示されるものからは若干異なる好ましい実施形態である。この実施形態は、ベローズ87を含み、LNP内部の環境から圧電駆動装置を隔離する。この隔離は、圧電素子に対するUV損傷を防ぎ、また、圧電材料から出るガス発生によって引き起こされる可能性のある汚染を回避する。

【0045】（目標とする波長を近似するディザ同調ミラー）上記の、波長と帯域幅との監視機器及び波長同調機器は、レーザ・ビームの帯域幅制御を可能にする。この技術は、図6に示される波長計を使用して帯域幅を監視することを必要とする。帯域幅が目標とする帯域幅未満の場合、波長制御機器が利用され、頻繁な間隔でミラー14をディザさせ、パルスからパルスのやり方でスペクトルの極めて微小なシフトを引き起こし、その結果、パルスのウィンドウに亘る平均積分スペクトルは、目標

とする帯域幅に類似する帯域幅を備えるほぼ一定のスペクトルを近似する。

【0046】例えば、スキャナに対する光学的装置が0.4pmの帯域幅用に設計され、そしてフッ素濃度の減少の故に個別パルスの帯域幅が0.3pmである場合、ミラー14は、その公称位置周囲にディザさせることができ、0.1pmだけの有効増加と同じ公称波長を維持するために、約0.05pmの公称波長の正及び負のシフトを作り出す。上記で検討した種類の、一般的な市販エキシマ・レーザにとっては、波長の0.05pmのシフトを作り出すのに、ミラー14のピボット位置の変化約2nmが必要である。ミラー位置のこの変化は、上記で参照され、また項目80として図に示される圧電駆動装置によって容易にもたらされる。一般に、集積回路製造において、ウェーハ上のそれぞれのスポットは、ディザ速度が十分であるように、通常約30から150パルスの範囲の多くのパルスを用いて照明され、その結果、ダイ・スポットの各々は、ディザの両側からほぼ等しいパルスの一部分を受ける。従って、スポットを照明するパルスの数が30の場合、ディザ速度は少なくともパルス繰返し数の1/4でなければならない。従って、パルス繰返し数が2000ヘルツである場合、ディザ速度は、好ましくは最低500ヘルツであろう。このことは、上記で参照される装置及びソフトウェアにとって問題とはならない。

【0047】（変形可能な同調ミラー）図10は、セグメント化された選択ミラーを示し、そこでは、5つのミラー・セグメントのそれぞれは、それ自身の圧電駆動装置14B1-5によって制御される。セグメントのそれぞれは、超高速で動作させることが可能である。この実施形態は、ビームのそれぞれの水平位置が個々に制御できることから、レーザの帯域幅を改善する別の長所を持つ。好ましい実施形態において、それぞれのセグメントは、帯域幅を0.03±0.02pmの範囲内などの目標とする範囲に維持するために設計されたフィードバック制御システムとソフトウェアとを使用して個別に制御される。この実施形態はまた、PDA124を持ち、それぞれのセグメントの位置を測定する。水銀ランプ114によって光が準備され、そこではUV光は、スリット116とコラミネーティング・レンズ118とを通過する。この場合のビームは、レーザ・ビームを拡大するために使用されるのと同じビーム・エクスパンダを通して拡大され、5つの小レンズは、それぞれのミラーからの光をPDAの別々の部分に焦点合わせする。

【0048】（回折格子面の浄化）ライン・ナローイング・パッケージの浄化が知られているが、従来技術では、浄化流が直接的に回折格子面に流れないようにすることを教えており、その結果浄化流は、一般に、回折格子面背部などの位置に設けられたポートを通して供給される。本出願者は、しかしながら、極めて高い繰返し数

のもとでは、高温ガス（窒素）の層が回折格子面上に形成され、波長を歪ませることを発見した。この歪みは、上記で検討した積極的な波長制御によって、少なくとも部分的に補正することができる。別のアプローチは、図11A、11B、11C、及び、11Dに示されるように、回折格子面を浄化することである。図11Aにおいて、長さ10インチ、直径3/8インチの浄化管61の頂部の各小孔（1mm、又は、1/4インチの間隔）は、浄化流を供給する。他の技術は、図11B、11C、及び、11Dに示されている。

【0049】本発明の特定の実施形態が示され、また説明されてきたものの、本発明のより広い態様から逸脱することなく、変更及び修正がなされ得ることは、当業者にとって明白であろう。例えば、部分的に線が狭められたレーザにおいて、帯域幅は、複数のプリズムを使用して線が狭められ、また、ビームは、同調ミラーを使用して反射される。この技術は、同調ミラーをディザすることを必要とするであろう。これらのディザ技術は、コヒーレンスの問題を取り除くのに役立つこともまた理解されたい。従って、添付の請求範囲により、そのような全ての変更及び修正を本発明の真の精神及び範囲に包含することが意図されている。

【図面の簡単な説明】

【図1】最良の焦点の、波長による変動を示すグラフである。

【図2】一般的な狭帯域ガス放電レーザスペクトルを示す図である。

【図3】空中画像強度の帯域幅による変動を示す図である。

【図4A】臨界寸法の変化の帯域幅による変動を示す図である。

【図4B】臨界寸法の変化の帯域幅による変動を示す図である。

【図4C】臨界寸法の変化の帯域幅による変動を示す図である。

【図5】狭帯域レーザシステムのブロック図である。

【図6】波長計の図である。

【図6A】波長の計算方法を示す図である。

【図6B】波長の計算方法を示す図である。

【図7】本出願者によって製作された1つの好ましい実施形態を示す図である。

【図8】本出願者によって製作された1つの好ましい実

* 施形態を示す図である。

【図9】試験結果を示す図である。

【図10】好ましい実施形態に従って構成されたレーザ・システムを示す図である。

【図11A】好ましい実施形態において回折格子面を冷却する技術を示す図である。

【図11B】好ましい実施形態において回折格子面を冷却する技術を示す図である。

【図11C】好ましい実施形態において回折格子面を冷却する技術を示す図である。

【図11D】好ましい実施形態において回折格子面を冷却する技術を示す図である。

【図12】高速で精密な波長制御をもたらすために提案された技術を示す図である。

【図12A】高速で精密な波長制御をもたらすために提案された技術を示す図である。

【図12B】高速で精密な波長制御をもたらすために提案された技術を示す図である。

【図12C】波長制御アルゴリズムを説明するフローチャートである。

【図12D】波長制御アルゴリズムを説明するフローチャートである。

【図13】異なるレーザガス温度領域をレーザチャンバに作り出す熱交換器の設計を示す図である。

【図14】好ましいライン・ナローイング・パッケージの形態を示す図である。

【図14A】好ましいライン・ナローイング・パッケージの形態を示す図である。

【図14B】好ましいライン・ナローイング・パッケージの形態を示す図である。

【図15】仮想的な真のスペクトルと比較したスリット関数を示す図である。

【符号の説明】

30 波長シフト補正システム

32 レーザ・システム

34 同調可能レーザ

36 レーザ波長調節機構

38 レーザ・ビーム

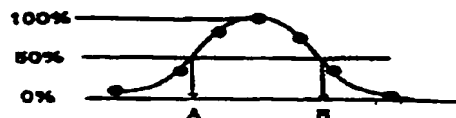
40 レーザ波長検出装置

42 チャープ取得システム

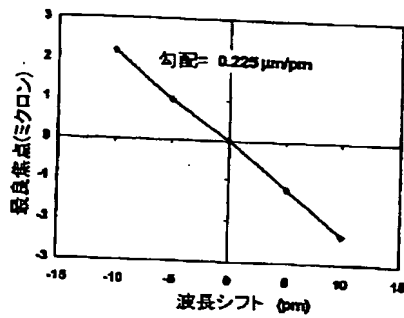
44 学習アルゴリズム

46 コンピュータ・システム

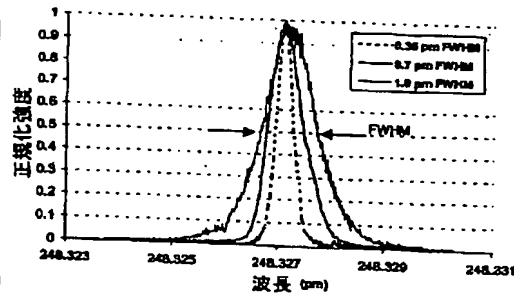
【図6A】



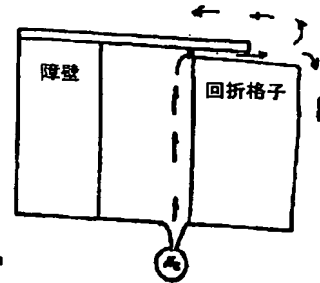
【図1】



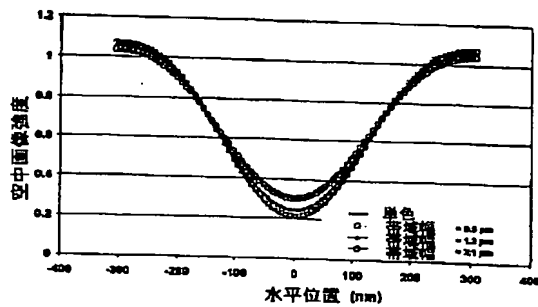
【図2】



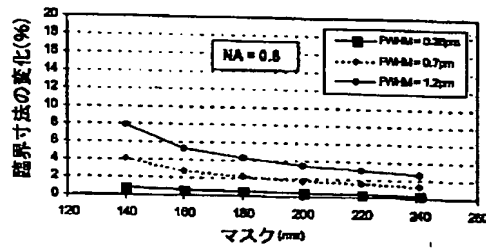
【図11B】



【図3】

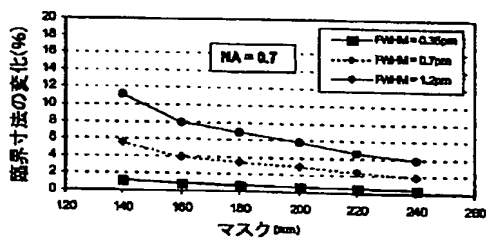


【図4A】

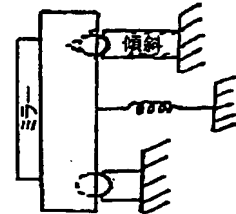
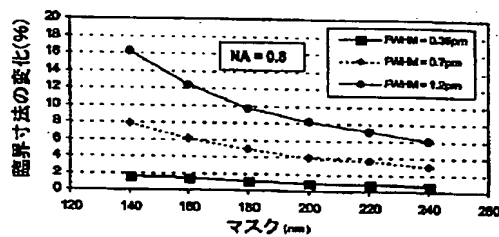


【図12B】

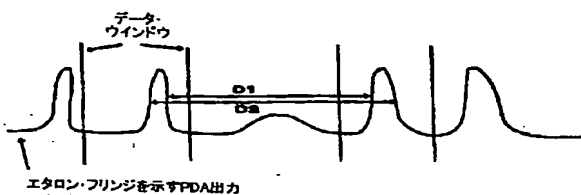
【図4B】



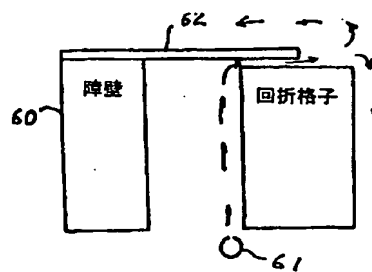
【図4C】



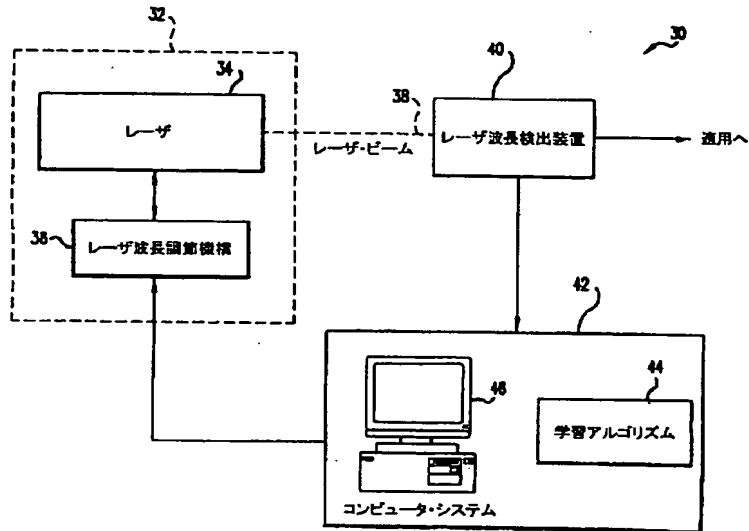
【図6B】



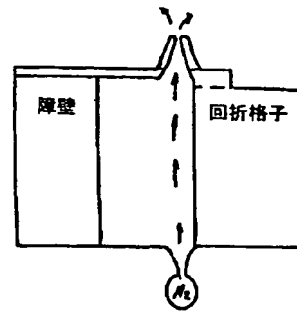
【図11A】



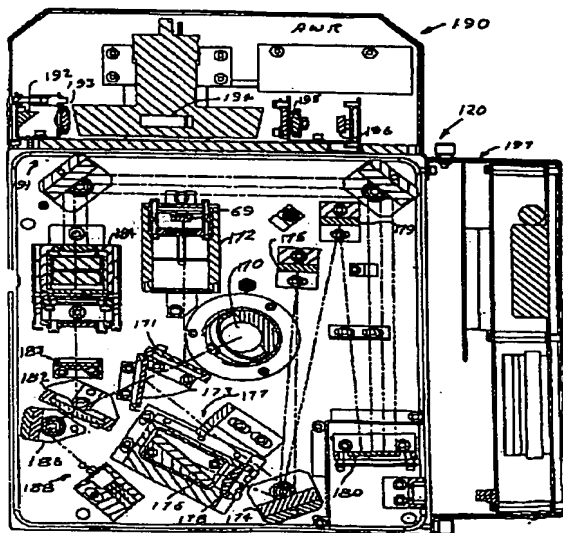
【図5】



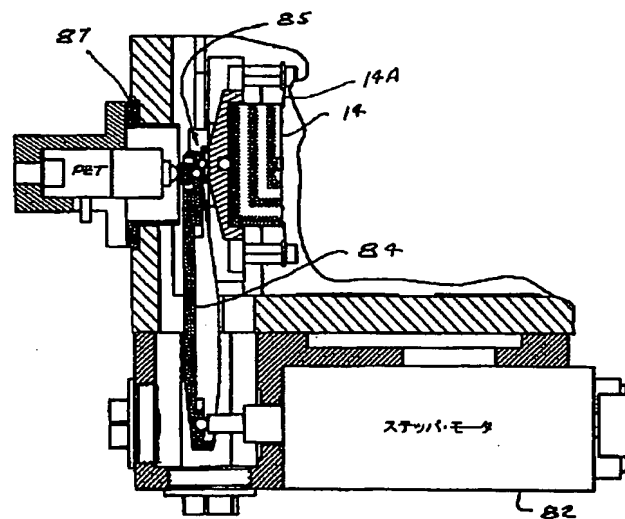
【図11C】



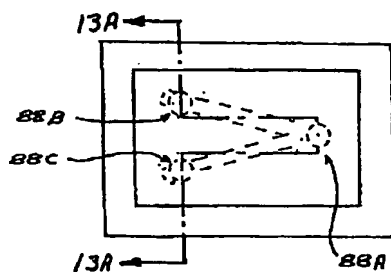
【図6】



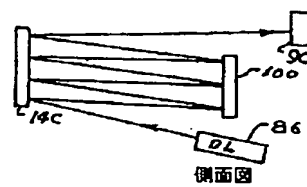
【図8】



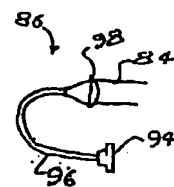
【図13B】



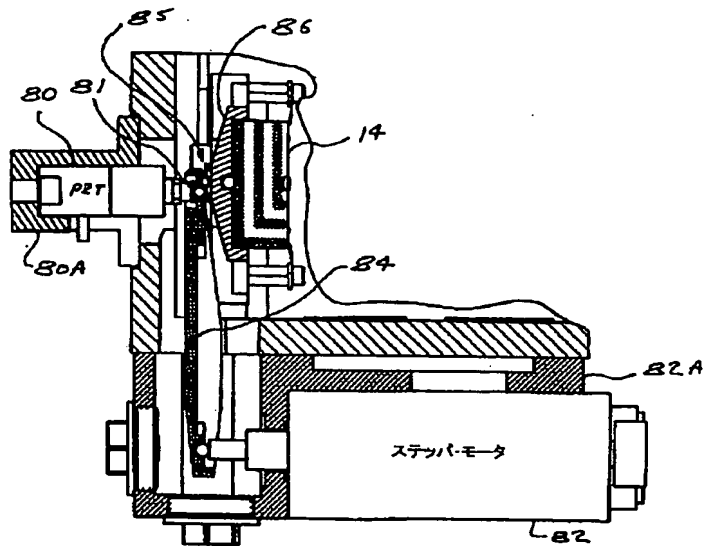
【図14A】



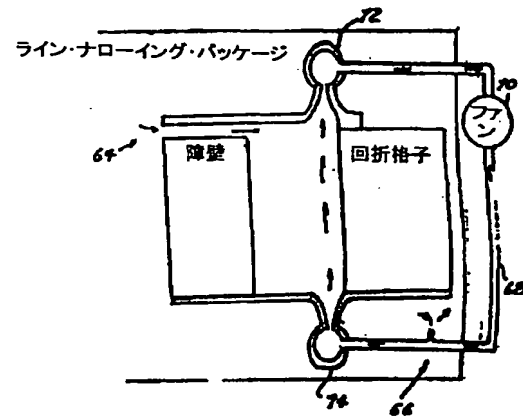
【図14B】



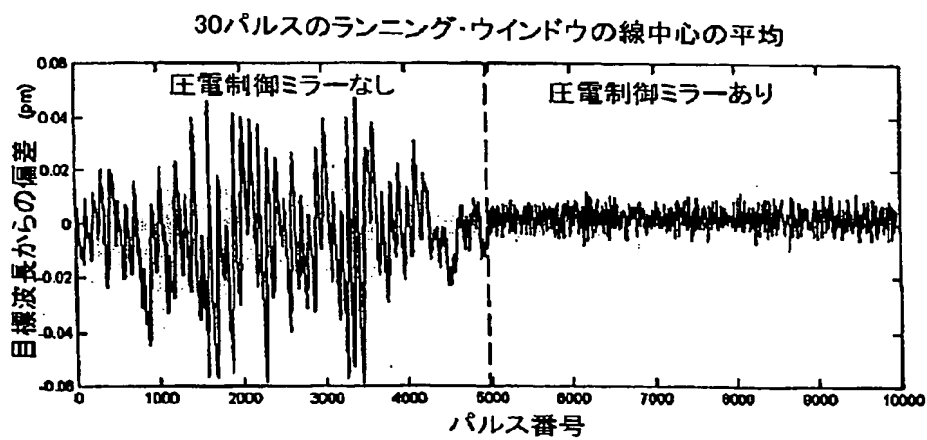
【図7】



【図11D】



【図9】



[illegible]

最も狭いスペクトルを持つ今日のレーザは、スリット関数の幅に近づいているので、数学的な補正が必要である

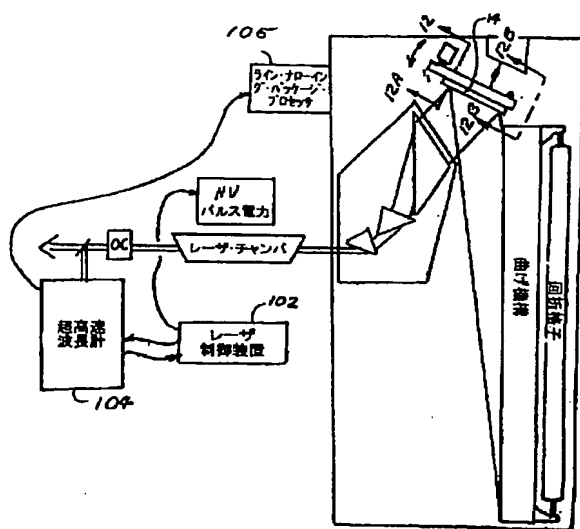
強度

真のスペクトル

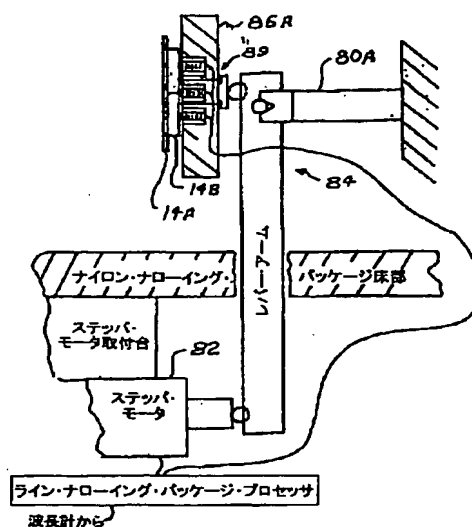
スリット関数

相対波長

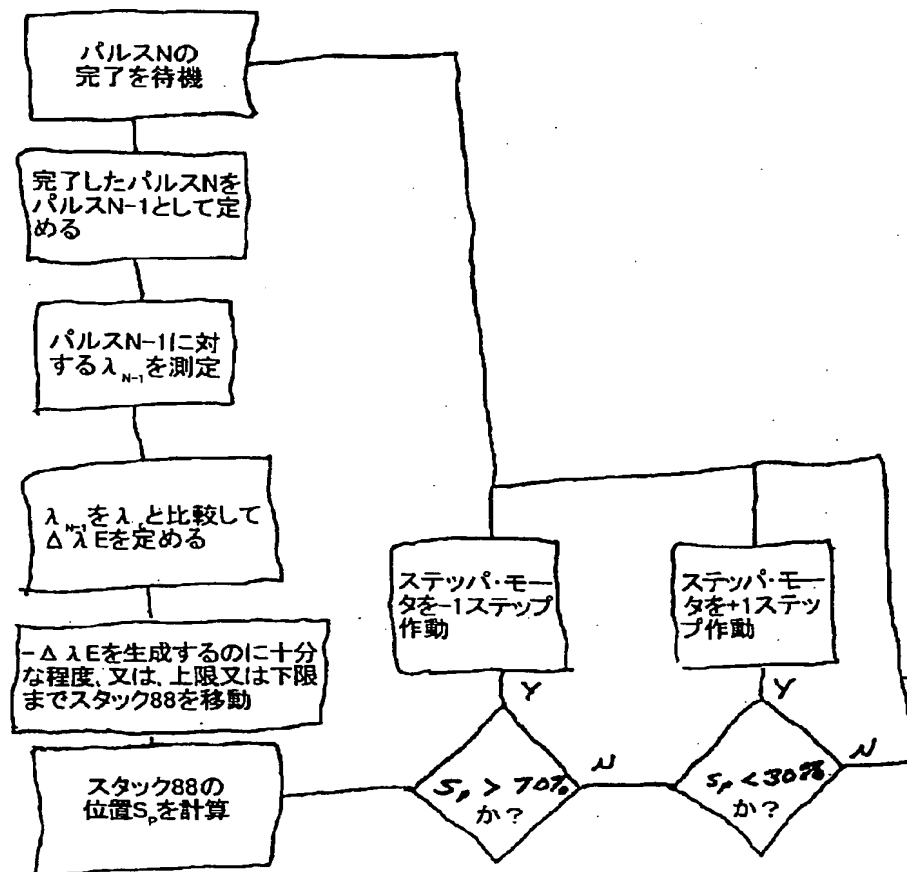
【図12】



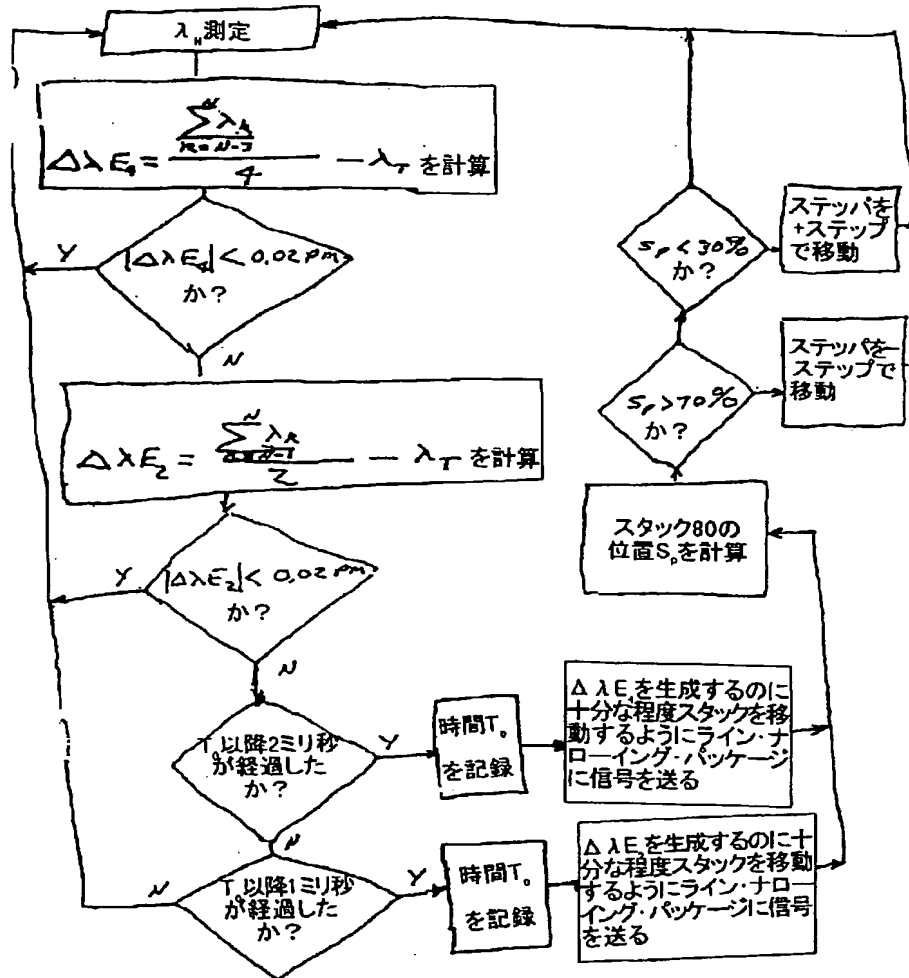
【図13A】



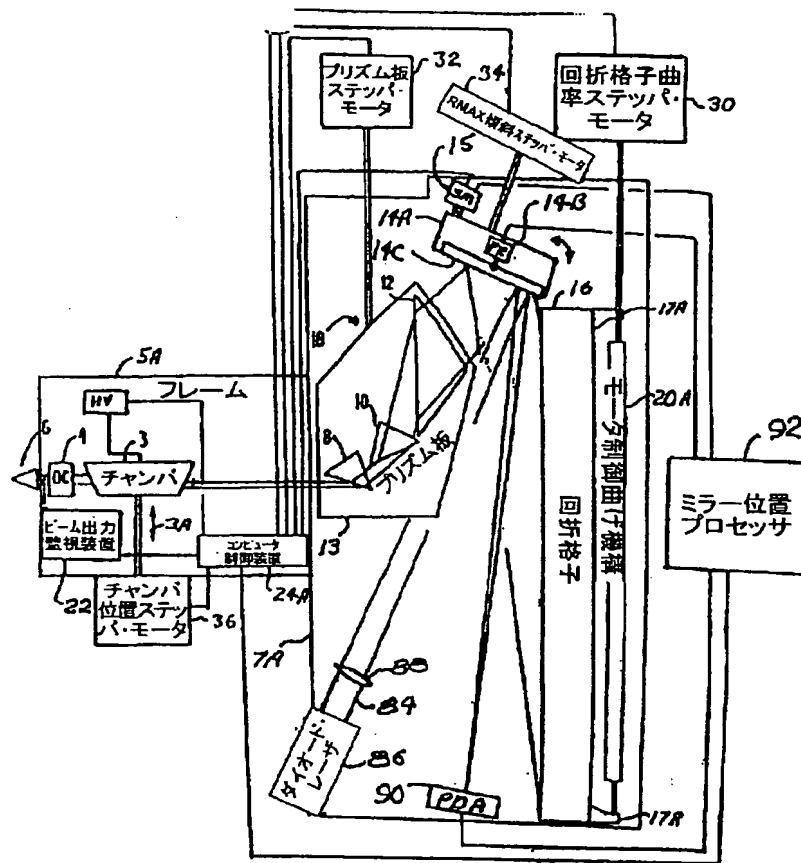
【図12D】



【図12C】



【図14】



【手続補正書】

【提出日】平成13年3月5日(2001. 3. 5)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図面の簡単な説明

【補正方法】変更

【補正内容】

【図面の簡単な説明】

【図1】最良の焦点の、波長による変動を示すグラフである。

【図2】一般的な狭帯域ガス放電レーザスペクトルを示す図である。

【図3】空中画像強度の帯域幅による変動を示す図である。

【図4A】臨界寸法の変化の帯域幅による変動を示す図である。

【図4B】臨界寸法の変化の帯域幅による変動を示す図である。

【図4C】臨界寸法の変化の帯域幅による変動を示す図である。

【図5】狭帯域レーザシステムのブロック図である。

【図6】波長計の図である。

【図6A】波長の計算方法を示す図である。

【図6B】波長の計算方法を示す図である。

【図7】本出願者によって製作された1つの好ましい実施形態を示す図である。

【図8】本出願者によって製作された1つの好ましい実施形態を示す図である。

【図9】試験結果を示す図である。

【図10】好ましい実施形態に従って構成されたレーザシステムを示す図である。

【図11A】好ましい実施形態において回折格子面を冷却する技術を示す図である。

【図11B】好ましい実施形態において回折格子面を冷却する技術を示す図である。

【図11C】好ましい実施形態において回折格子面を冷却する技術を示す図である。

【図11D】好ましい実施形態において回折格子面を冷却する技術を示す図である。

【図12】高速で精密な波長制御をもたらすために提案された技術を示す図である。

【図12A】高速で精密な波長制御をもたらすために提案された技術を示す図である。

【図12B】高速で精密な波長制御をもたらすために提案された技術を示す図である。

【図12C】波長制御アルゴリズムを説明するフローチャートである。

【図12D】波長制御アルゴリズムを説明するフローチャートである。

【図13A】高速のミラー調整を可能にするミラー制御装置を示す。

【図13B】高速のミラー調整を可能にするミラー制御装置を示す。

*【図14】好ましいライン・ナローイング・パッケージの形態を示す図である。

【図14A】好ましいライン・ナローイング・パッケージの形態を示す図である。

【図14B】好ましいライン・ナローイング・パッケージの形態を示す図である。

【図15】仮想的な真のスペクトルと比較したスリット関数を示す図である。

【符号の説明】

- 30 波長シフト補正システム
- 32 レーザ・システム
- 34 同調可能レーザ
- 36 レーザ波長調節機構
- 38 レーザ・ビーム
- 40 レーザ波長検出装置
- 42 チャープ取得システム
- 44 学習アルゴリズム
- 46 コンピュータ・システム

フロントページの続き

- (72)発明者 アーメン クロイアン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
92122 サン ディエゴ エイジー スト
リート 6194-# 57
- (72)発明者 ジェシー ディ バック
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
92069 サン マーカス ウッドランド
コート 1320
- (72)発明者 バラシュ ビー ダス
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
92084 ヴィスタ パセオ ド アンザ
2029

- (72)発明者 リチャード エル サンドストロム
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
92024 エンシニータス ブライドーン
テラス 410
- (72)発明者 フレデリック ジー エリー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
92024 エンシニータス ヴィレッジ パ
ーク ウェイ 2047 アpartment
157
- (72)発明者 ジョン エム アルゴッツ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
92131 サン ディエゴ ハンドリッチ
ドライブ 11795
- (72)発明者 ガマラーララーク ジー バドマバンデュ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
92127 サン ディエゴ カミノ コドミ
ッツ 15772

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.